



**TUGAS AKHIR - TM 141585**

**KAJIAN MODIFIKASI FASILITAS PRODUKSI  
KOMPRESSOR C-102 PADA LAPANGAN KERJA CPP  
PT. PERTAMINA HULU ENERGI (PHE WMO)  
DENGAN MENGGUNAKAN GAS CONDITIONING  
UNIT DALAM RANGKA MENGURANGI  
UNPLANNED SHUTDOWN**

**BARTOLOMEUS WIDI BRAMANTIO**  
NRP 2113 100 177

Dosen Pembimbing  
Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018



**FINAL PROJECT - TM 141585**

**MODIFICATION STUDY OF PRODUCTION  
FACILITIES COMPRESSOR C-102 ON PLATFORM  
CPP PT. PERTAMINA HULU ENERGI (PHE WMO)  
USING A GAS CONDITIONING UNIT IN ORDER TO  
IMPROVE PRODUCTION OPPORTUNITY**

**BARTOLOMEUS WIDI BRAMANTIO**  
NRP 2113 100 177

Advisor  
Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL ENGINEERING  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2018

**KAJIAN MODIFIKASI FASILITAS PRODUKSI  
KOMPRESSOR C-102 PADA LAPANGAN KERJA CPP PT.  
PERTAMINA HULU ENERGI (PHE WMO) DENGAN  
MENGUNAKAN GAS CONDITIONING UNIT DALAM  
RANGKA MENGURANGI UNPLANNED SHUTDOWN**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**BARTOLOMEUS WIDI BRAMANTIO**

NRP. 2113 100 177

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc ..... (Pembimbing)  
NIP. 196303141988031002
2. Dinny Harnany, ST, MSc ..... (Penguji I)  
NIP. 2100201405001
3. Ari Kurniawan Saputra, ST, MT ..... (Penguji II)  
NIP. 198604012015041001
4. Ir. Sampurno, MT ..... (Penguji III)  
NIP. 196504041989031002

**SURABAYA  
JANUARI, 2018**

# **KAJIAN MODIFIKASI FASILITAS PRODUKSI KOMPRESSOR C-102 PADA LAPANGAN KERJA CPP PT. PERTAMINA HULU ENERGI (PHE WMO) DENGAN MENGGUNAKAN GAS CONDITIONING UNIT DALAM RANGKA MENGURANGI UNPLANNED SHUTDOWN**

**Nama Mahasiswa : Bartolomeus Widi Bramantio**  
**NRP : 2113100177**  
**Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS**  
**Dosen Pembimbing : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc**

## **Abstrak**

Salah satu permasalahan yang cukup membutuhkan perhatian adalah tingginya angka *unplanned shutdown* pada kompressor C-102 yang menyebabkan PT. PHE WMO kehilangan banyak kesempatan produksi. Teridentifikasi awal bahwa *unplanned shutdown* yang terjadi dikarenakan oleh penumpukan *wax* pada saluran *floater* yang menyebabkan oli tidak dapat teregenerasi. Dibutuhkan solusi untuk menangkap *wax* tersebut sehingga tidak terjadi penumpukan pada *floater*.

Kompressor C-102 akan diaudit dan dianalisa, sehingga permasalahan yang terjadi dapat diketahui dengan baik. Dengan menggunakan metode *root cause analysis* (RCA), permasalahan yang terjadi dapat diidentifikasi sampai kepada akar permasalahanya dan

diharapkan dengan mengetahuinya dapat ditemukan solusi yang paling sesuai terhadap permasalahan tersebut. Kemudian kajian terhadap pemasangan *gas conditioning unit* (GCU) akan dianalisa dari segi biaya dan efektivitas.

Dengan digunakanya metode RCA, maka dapat didapatkan akar permasalahan yang menjadi dasar untuk analisa implementasi sebuah GCU. Diharapkan dengan pemasangan GCU, jumlah *unplanned shutdown* pada kompressor C-102 dapat menurun dan dapat mengurangi kehilangan kesempatan produksi yang ada pada perusahaan PHE WMO.

**Keywords :** *Compressor C-102, Root Cause Analysis, Unplanned Shutdown*

**MODIFICATION STUDY OF PRODUCTION  
FACILITIES COMPRESSOR C-102 ON  
PLATFORM CPP PT. PERTAMINA HULU  
ENERGI (PHE WMO) USING A GAS  
CONDITIONING UNIT IN ORDER TO IMPROVE  
PRODUCTION OPPORTUNITY**

**Student Name** : Bartolomeus Widi Bramantio  
**NRP** : 2113100177  
**Department** : Teknik Mesin FTI-ITS  
**Advisor** : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

**Abstract**

When producing oil and gas, PT. PHE WMO are vulnerable to face many problems that can caused a lot of loss production opportunity. One of many problems that require immediate attention is high unplanned shutdown on compressor C-102 that caused PT. PHE WMO to lose many production opportunity. Suspected that wax plug the floater on the seal oil system, that caused the oil regeneration system to be failed. A filtration system is needed to remove the wax from the process gas to prevent a plugging on the floater.

Compressor C-102 will be audited and analysed so the main problem can be identified. Using Root Cause Analysis (RCA) method, problems that happened can be identified to the core of the problems itself and with that can be a guidance to the process of implementing a GCU if it is a possible solution or not from a cost and effectiveness perspective

On this final project, with the used of RCA method on determining the root cause of the problem, is hoped to be a crucial information on clearing the problems that happening

and can lower the unplanned shutdown number as well on the compressor C-102

**Keywords:** **Compressor C-102, *Root Cause Analysis, Unplanned Shutdown***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan karunia-Nya penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Segala tangis, kebahagiaan, amarah, dan seluruh emosi yang dapat diluapkan selama penulis kuliah merupakan salah satu pengalaman dan kenangan yang tidak akan pernah penulis lupakan untuk menjadi batu loncatan penulis dalam menghadapi kehidupan berikutnya.

Tugas akhir ini merupakan persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin FTI ITS. Dengan diselesaikannya tugas akhir ini, semoga dapat menjadi pembelajaran bagi siapa saja yang ingin memperdalam ilmunya dalam tugas akhir yang penulis lakukan.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak dan Ibu dari penulis, Johanes Widjonarko dan Agnes Sribudiyani yang selalu hadir untuk memberikan dukungan dalam segala aspek, sehingga segala sesuatunya dapat terlewati dengan baik.
2. Bapak Ir. Witantyo, M.Eng.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang membimbing penulis dengan penuh kesabaran.
3. Bapak Ari Kurniawan, ST., MT., Ibu Dinny Harnany, ST., M.Sc., dan Bapak Ir. Sampurno, MT selaku dosen penguji.
4. Bapak Ani Surakhman, Bapak Ariffin, Bapak Erry Hartanto, dan terlebih Mas Ari Antono, selaku pihak dari PT. PHE WMO yang telah membimbing dan membantu dalam pengambilan data serta



mengarahkan penulis sehingga tugas akhir ini dapat tersusun dengan baik.

5. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin yang telah membantu penulis atas pengetahuan dan pembelajaran yang telah diberikan.
6. Ergi, Yuyung, Oti, Juan, dan Wilson yang memberikan penulis hiburan dunia maya setiap kali penulis merasa lelah dalam melaksanakan tugas akhir.
7. Nabil, Delia, Diastanto, Rexa, Romario, Anna, Putri yang berjuang bersama di Laboratorium Rekayasa Sistem Industri.
8. Fahmi Adrian yang memberikan penulis bantuan berlebih dalam SKEM.
9. Nino yang membantu penulis dengan memberikan "*Last Minute*" *consultation* untuk menyelesaikan tugas akhir ini
10. Segala individu yang pernah ada dalam kehidupan perkuliahan penulis, karena tanpa mereka kegiatan perkuliahan penulis mungkin tidak akan seperti sekarang ini.
11. Anggota grup *line* wicak, anggi, rexa, yudhis, awo, nauval, faris yang selalu memberikan penulis asupan kebahagiaan maupun dengan sedikit kekhawatiran.
12. Dan seluruh angkatan 2013 Teknik Mesin ITS M56 yang memberikan penulis banyak arti dan makna dalam menjalankan kehidupan.

Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan maka penulis bersedia menerima kritik dan saran untuk penelitian yang lebih baik.

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ..... **Error! Bookmark not defined.**

Abstrak ..... iv

Abstract ..... vi

KATA PENGANTAR ..... viii

DAFTAR ISI ..... x

DAFTAR GAMBAR ..... xiii

DAFTAR TABEL ..... xv

BAB I ..... 1

PENDAHULUAN ..... 1

1.1 Latar Belakang ..... 1

1.2 Rumusan Masalah ..... 7

1.3 Batasan Masalah ..... 8

1.4 Tujuan Penelitian ..... 8

1.5 Manfaat Penelitian ..... 9

BAB II ..... 11

TINJUAN PUSTAKA ..... 11

2.1 Gas Bumi dan Kandunganya ..... 11

2.2 *Petroleum Wax* ..... 12

2.3	<i>Gas Turbine Compressor</i> .....	13
2.4	<i>Wet Seal System Kompresor</i> .....	17
2.5	<i>Demister</i> .....	21
2.5.1	<i>Vane-Type Demister</i> .....	23
2.5.2	<i>Coalescer</i> .....	23
2.6	Penelitian Terdahulu .....	25
2.6.1	Penemuan Masalah .....	25
2.6.2	Solusi yang Ditawarkan .....	26
2.6.3	Kesimpulan .....	27
2.6.4	Hipotesa Awal.....	28
2.7	<i>Root Cause Analysis</i> .....	29
2.8	Spesifikasi Kompresor yang Ditinjau .....	31
2.9	Perhitungan Diameter dan Tinggi <i>Vessel</i> Beserta Luasan <i>Meshpad</i> [9] .....	34
BAB III .....		37
METODOLOGI.....		37
3.1	Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir .....	37
3.2	Prosedur Pengerjaan Tugas Akhir.....	37
BAB IV .....		41
ANALISA DAN PEMBAHASAN.....		41
4.1	Identifikasi Faktor Permasalahan .....	41
4.1.1	Laboratorium Test.....	43

4.1.2	5 WHYs Analysis and Root Cause .....	47
4.2	Analisis Biaya Solusi Sementara.....	49
4.3	Analisis Solusi Permasalahan .....	51
4.4	Analisis Perhitungan Dimensi Filter <i>Vessel</i> dan Luasan <i>Meshpad</i> .....	54
4.4.1	Analisa Menggunakan <i>Mist Extractor</i> ( <i>Meshpad</i> ).....	56
4.4.2	Ilustrasi Desain Filter Menurut Perhitungan	59
4.5	Analisis Biaya pemasangan GCU .....	61
BAB V	.....	63
KESIMPULAN DAN SARAN.....		63
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA .....		65

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Peta Lokasi Wilayah Kerja Pertamina-WMO [1].....	2
<b>Gambar 1.2</b> <i>Pareto Chart</i> Kompresor C-102 .....	3
<b>Gambar 1.3</b> <i>Process Flow Diagram</i> (PFD) PT. PHE WMO [1].....	5
<b>Gambar 1.4</b> Penyumbatan pada <i>Seal Oil System</i> [1] .....	7
<b>Gambar 2.1</b> Gas Turbin [5] .....	15
<b>Gambar 2.2</b> <i>Gas Turbine Compressor</i> [5].....	16
<b>Gambar 2.3</b> Skematik <i>Wet Seal</i> [1] .....	18
<b>Gambar 2.4</b> <i>Seal Oil dan Buffer Gas Supply (Suction)</i> [1].....	19
<b>Gambar 2.5</b> <i>Seal Oil Separator/Trap</i> [1].....	20
<b>Gambar 2.6</b> Skematik Diagram <i>Wet Seal System</i> [1] ..	21
<b>Gambar 2.7</b> Jenis-Jenis <i>Demister</i> [6] .....	22
<b>Gambar 2.8</b> <i>Vane-Type Demister</i> [6] .....	23
<b>Gambar 2.9</b> Prinsip Kerja dari <i>Coalescer</i> [6].....	25
<b>Gambar 2.10</b> Penampang dinding pipa yang tidak di-injeksikan <i>chemical</i> .....	27
<i>inhibitor</i> (kiri) dan yang di-injeksikan <i>chemical inhibitor</i> (kanan) [7].....	27
<b>Gambar 2.11</b> <i>Root Cause Analysis Tree Diagram</i> .....	31

<b>Gambar 2.12</b> Spesifikasi <i>Gas Turbine Compressor</i> yang Ditinjau (a), (b) dan (c) [8] .....	33
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian.....	37
<b>Gambar 4.1</b> Penyumbatan pada <i>Wet Seal Oil System</i> .	42
<b>Gambar 4.2</b> Penyumbatan pada Sistem <i>Seal Oil</i> .....	43
<b>Gambar 4.3</b> Hasil Laboratorium dari <i>Drain Fuel Gas C-102</i> .....	44
<b>Gambar 4.4</b> <i>Scale/Deposit Analysis</i> .....	46
<b>Gambar 4.5</b> Sisa Ruang dan Estimasi Dimensi dari GCU .....	52
<b>Gambar 4.6</b> Gambar Rancangan Awal GCU .....	53
<b>Gambar 4.7</b> Salah Satu Contoh Filter yang Dapat Digunakan Berdasarkan Tawaran Manufaktur [10] .....	54
<b>Gambar 4.8</b> Ilustrasi Desain Filter yang Dapat Digunakan .....	60

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.1</b> Data jumlah <i>unplanned shutdown</i> terkait <i>plugging wax</i> selama 6 bulan tahun 2017 [1] .....	6
<b>Tabel 2.1</b> Range of Composition of Natural Gas [3] ...	11
<b>Tabel 4.1</b> 5 WHYs <i>Analysis</i> dan <i>Root Cause</i> .....	47
<b>Tabel 4.2</b> Analisa Biaya dan Kehilangan Kesempatan Produksi <i>Unplanned Shutdown</i> .....	49
<b>Tabel 4.3</b> Kebutuhan Parameter Gas yang Disarankan	55
<b>Tabel 4.4</b> <i>Properties</i> Fluida yang Dialirkan .....	55
<b>Tabel 4.5</b> Estimasi Biaya Pemasangan dan Perawatan GCU .....	61





# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Minyak dan gas bumi adalah komoditas sumber energi dan bahan baku industri yang sangat penting. Keberadaannya yang bersifat sangat strategis, telah menjadikan minyak dan gas bumi menjadi faktor produksi di banyak negara, termasuk Indonesia. Sesuai dengan karakteristik geologi, keberadaan minyak dan gas bumi tidak terdapat pada sembarang tempat, dan Indonesia sangat beruntung karena memiliki cadangan minyak dan gas bumi, yaitu sebesar 3,3 Miliar Barel untuk minyak bumi dan 101,2 Triliun kaki kubik, (Website Kementerian ESDM, 2017). [2]

PT. Pertamina Hulu Energi – West Madura Offshore (Pertamina-WMO) sesuai pada **Gambar 1.1** adalah perusahaan minyak dan gas bumi nasional yang memiliki kontrak kerja sama untuk melakukan kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi, dengan lokasi wilayah kerjanya di sebelah barat lepas pantai Madura, (gambar 1.1). Keberhasilan eksplorasi yang dilakukan dapat ditemukan cadangan terbukti minyak bumi sebesar 27,2 juta barel dan gas bumi sebesar 311,1 juta kaki kubik, (Laporan Tahunan Pertamina PHE WMO, 2015). Dari cadangan terbukti tersebut dapat diproduksi minyak bumi sebesar 13.500 *Barel Oil per Day* (BOPD) dan gas bumi sebesar 103 *Million Standard Cubic Feet per Day* (MMSCFD), (Laporan Tahunan Pertamina PHE WMO, 2015). [1]

Disamping karakteristik geologi yang mempengaruhi keberadaan minyak dan gas bumi, eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi memiliki risiko biaya dan operasi yang cukup besar dengan kompleksitas infrastruktur dan fasilitas produksi yang diperlukan, khususnya untuk gas bumi, sejak

dari sumur gas (*offshore platform*) hingga pemanfaatan (*onshore receiving facility-ORF*).

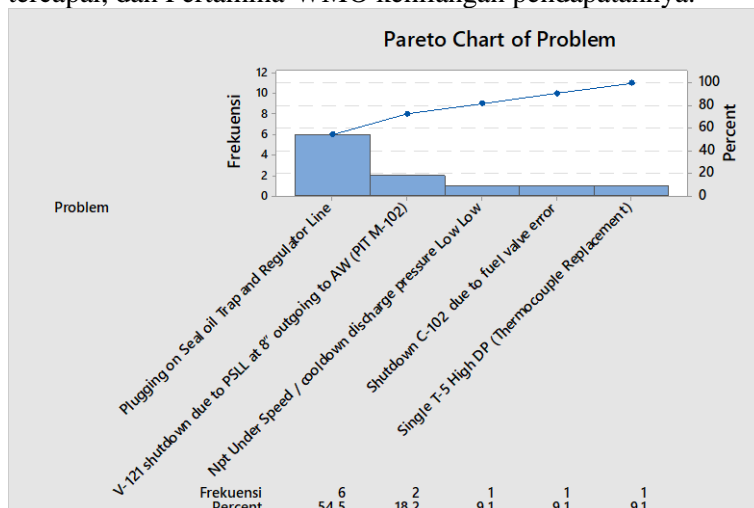


**Gambar 1.1** Peta Lokasi Wilayah Kerja Pertamina-WMO [1]

Sesuai dengan sifat fisika dan kimia gas bumi, kondisi tersebut sangat menentukan perencanaan dan disain fasilitas produksi yang diperlukan. Salah satu peralatan yang melekat pada fasilitas produksi dan berkaitan dengan eksploitasi gas bumi, yaitu digunakan kompresor berkekuatan tinggi yang diperlukan untuk memompa gas bumi dari lokasi sumur produksi gas bumi (*offshore platform*) menuju *onshore receiving facility* (ORF). Untuk mendukung kegiatan operasinya, saat ini Pertamina-WMO mengelola 1 *Gathering Station*; 1 *Onshore Receiving Facility*; 16 *Production Platform*; 78 *Exploration Well*; 82 *Development Well*; 50

*Production Well*; 141,6 km *subsea oil pipeline* dan 162,99 km *subsea gas pipeline*, (Laporan Tahunan Pertamina PHE WMO, 2015). [1]

Kompleksitas fasilitas produksi yang dikelola oleh Pertamina-WMO untuk memproduksi gas bumi dan karakteristik kimia gas bumi yang diproduksi, menyebabkan cukup sering dijumpai permasalahan peralatan dan instrumentasi sehingga terjadi adanya penghentian operasi sementara secara tak terencana (*unplanned shutdown*). Kondisi tersebut berdampak juga pada penghentian proses kegiatan operasi produksi. Pemberhentian kegiatan operasi produksi gas bumi tersebut menyebabkan kerugian yang cukup besar dan dapat menyebabkan target produksi gas bumi tidak tercapai, dan Pertamina-WMO kehilangan pendapatannya.

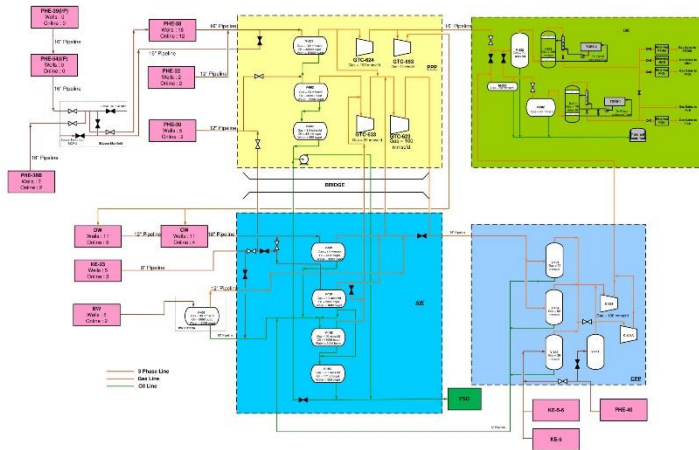


**Gambar 1.2** Pareto Chart Kompressor C-102

Pada *pareto chart* **Gambar 1.2**, dapat dilihat bahwa dari 5 permasalahan yang terjadi selama 7 bulan (januari-juni), kompressor C-102 memiliki masalah terbesar sejumlah 54.5% yaitu “*Plugging on Seal Oil Trap and Regulator Line*”.

Permasalahan yang terjadi tersebut, yang mengakibatkan *unplanned shutdown* dalam skala yang tinggi (6 kali), adalah penutupan saluran *seal oil*, sehingga oli pada *seal oil* tersebut habis secara cepat dan pada interval yang tidak normal, yang mengharuskan Pertamina-WMO menghentikan kegiatan operasi untuk memperbaiki kerusakan tersebut. Penutupan saluran *seal oil* yang terjadi, disebabkan oleh kotoran yang masuk bersama gas yang melewati kompressor tersebut. Gas yang diproduksi dari dalam sumur, mengandung partikel fluida yang dalam skala besar dapat menyumbat saluran *seal oil*. Saluran dari *seal oil* yang tersumbat mengakibatkan naiknya volume fluida pada *seal oil trap* hingga masuk kedalam bagian *process gas*, yang pada akhirnya oli tersebut ikut terkompres bersama gas menuju ORF.

Pada lapangan gas bumi di *Central Processing Platform* (CPP), terdapat kompressor dengan kode C-102 yang sering mengalami penumpukan *wax* atau yang disebut *waxing*. *Wax* tersebut dapat menyumbat dan mengganggu kerja *seal system* yang terdapat pada kompressor tersebut. Kompressor C-102 bertugas untuk mengkompresi gas dengan kapasitas 100 mmscfd. Gas tersebut akan dialirkan kepada *onshore receiving facility* (ORF) yang nantinya akan diproses untuk dijual kepada pembeli gas. Bila terjadi hambatan pada proses pengiriman atau terjadi *unplanned shutdown*, maka pembeli gas akan terganggu pula dalam kinerjanya. Sistem kerja kompressor C-102 dapat dijelaskan melalui **Gambar 1.3**



**Gambar 1.3** *Process Flow Diagram (PFD) PT. PHE WMO*  
[1]

Penumpukan *wax* tersebut menyebabkan operator harus melakukan *unplanned shutdown*, sehingga mengganggu kelangsungan operasi. *Unplanned shutdown* Tabel 1.1, menyebabkan naiknya biaya operasi yang harus dikeluarkan perusahaan untuk melakukan reparasi dan pemeliharaan (*maintenance cost*), dan juga mempengaruhi target produksi yang tidak tercapai atau mengalami *loss production*. Selain perusahaan, *user* atau pembeli gas bumi yang dihasilkan dan sudah berkontrak dengan Pertamina-WMO dapat mengalami berkurangnya pasokan gas bumi dan dapat mempengaruhi kinerja dari *user* tersebut.

**Tabel 1.1** Data jumlah *unplanned shutdown* terkait *plugging wax* selama 6 bulan tahun 2017 [1]

<b><i>Unplanned Shutdown</i> terkait <i>plugging wax</i> pada kompresor C-102</b>	
<b>Tanggal Kejadian</b>	<b>Interval terhadap <i>Unplanned</i> Sebelumnya</b>
<b>23 Januari 2017</b>	-
<b>20 Februari 2017</b>	28 hari
<b>28 Maret 2017</b>	36 hari
<b>22 April 2017</b>	25 hari
<b>25 May 2017</b>	33 hari
<b>10 Juni 2017</b>	16 hari

Pada **Tabel 1.1**, dapat diamati bahwa jumlah *unplanned shutdown* pada kinerja kompresor C-102 terjadi setiap bulanya dengan beberapa interval kurang dari 30 hari. Angka tersebut sangatlah tidak wajar, dikarenakan kerusakan terjadi setiap bulan.

Penyumbatan akibat penumpukan *wax* tersebut bersifat fatal, dan mengakibatkan sistem regenerasi oli yang terdapat pada *seal oil* tersebut tidak dapat berjalan dengan baik sehingga sering terjadi kehilangan *lube oil* yang mengakibatkan kompresor tidak dapat beroperasi. Selain tidak dapatnya teregenerasi oli kembali, beberapa tubing pada system *seal* mengalami pemampatan yang mengharuskan kompresor mengalami *shutdown* untuk dilakukan pembersihan sehingga kompresor dapat bekerja kembali. Pemampatan yang terjadi berada pada titik-titik kritis kompresor **Gambar 1.4**.



**Gambar 1.4** Penyumbatan pada *Seal Oil System* [1]

Untuk mengatasi adanya *waxing*, dibutuhkan sistem tambahan untuk mengurangi kandungan unsur-unsur yang dapat merusak dan menyumbat peralatan yang ada. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan menambahkan sistem *gas conditioning unit* (GCU) sebelum pada proses di *seal oil system*. GCU tersebut bertugas untuk menyaring segala kotoran, serta membantu menghilangkan fluida yang masih menempel pada gas yang akan di pompa ke *onshore receiving facility* (ORF) untuk selanjutnya ditransport melalui pipa kepada pengguna (*user*) atau pembeli gas bumi. Disamping untuk menjaga kehandalan peralatan, usaha-usaha untuk menekan kandungan unsur-unsur kimia tertentu seperti fluida sangat penting, mengingat *user* atau pembeli gas bumi juga mensyaratkan kandungan fluida pada batas-batas tertentu yang dapat diterima oleh *user* atau pembeli gas bumi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi objek penelitian ini adalah:

- Bagaimana solusi yang tepat dalam mengurangi *unplanned shutdown* pada *compressor* C-102 dalam segi biaya dan efektivitas

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk menjaga agar penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik dan tidak keluar dari inti pembahasannya, maka ditetapkan batasan masalah dan ruang lingkup sebagai berikut:

- Kompresor yang dianalisa adalah kompresor C-102 dengan tipe *Solar Turbines Centaur 50* pada lapangan kerja CPP PT. PHE WMO.
- Komponen yang diamati dan dianalisa hanya yang terdapat pada bagian bagian *wet seal system* kompresor dan *tubing* yang menjadi perantara fluida dari bagian *discharge* dan *suction* hingga *regulator*.
- Perbaikan dan solusi yang ditawarkan hanya terdapat pada bagian *wet seal system* kompresor dan *tubing* yang menjadi perantara fluida dari bagian *discharge* dan *suction* hingga *regulator* pada kompresor C-102
- Jenis dan karakteristik fluida yang dibahas, hanya yang melalui bagian *wet seal system* kompresor dan *tubing* yang menjadi perantara fluida dari bagian *discharge* dan *suction* hingga *regulator* pada kompresor C-102.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan-tujuan sebagai berikut:

- Mengidentifikasi faktor-faktor penyebab terjadinya kerusakan pada *seal system*



- Menganalisa opsi penggunaan peralatan tambahan yang efektif untuk perbaikan atau perubahan system operasi produksi guna mengurangi *unplanned shutdown*.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Memberikan informasi terhadap faktor apa saja yang perlu diperhatikan dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas produksi di *Central Processing Platform* (CPP).
- Memberikan rujukan dalam pemilihan alternative untuk mengurangi *unplanned shutdown* pada kasus-kasus yang serupa

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II

### TINJUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas mengenai dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan kajian sehingga permasalahan yang diangkat dapat terselesaikan dengan baik.

#### 2.1 Gas Bumi dan Kandungannya

Gas bumi dapat ditemukan diberbagai belahan bumi, yang tersimpan jauh dibawah permukaan bumi dan dasar lautan. Gas bumi yang ditemukan didalam cadangan minyak mentah disebut *associated natural gas* dan yang ditemukan tanpa minyak mentah disebut *non-associated natural gas*. (Speight, 2007) [3]

Gas bumi mengandung berbagai macam substansi yang berbeda-beda seperti *methane*, *ethane*, serta beberapa *propan*, *butane* dan beberapa hidrokarbon seperti pada **Tabel 2.1**. Molekul hidrokarbon tersebut selalu mengandung uap air. Pada gas juga dapat ditemukan senyawa karbon dioksida ( $CO_2$ ) dan hydrogen sulfide ( $H_2S$ ) yang bersifat asam. Gas yang bersifat asam tersebut bila disatukan dengan air yang terkondensasi dapat menjadi cairan asam yang dapat merusak jalur pipa, *valve*, dan instrument lainnya pada kompressor.[1]Polymeric Membranes for Natural Gas Conditioning H. Feng , H. Zhang & L. Xu

**Tabel 2.1** Range of Composition of Natural Gas [3]

Gas	Commposition	Range
<b>Methane</b>	$CH_4$	70-90%
<b>Ethane</b>	$C_2H_6$	0-20%
<b>Propane</b>	$C_3H_8$	0-20%
<b>Butane</b>	$C_4H_{10}$	0-20%

<b>Pentane and Higher Hydrocarbons</b>	$C_5H_{12}$	0-10%
<b>Carbon Dioxide</b>	$CO_2$	0-8%
<b>Oxygen</b>	$O_2$	0-0.2%
<b>Nitrogen</b>	$N_2$	0-5%
<b>Hydrogen Sulfide, Carbon Sulfide</b>	$H_2S, COS$	0-5%
<b>Rare Gases:</b>	A, He, Ne, Xe	trace

Tidak jarang gas bumi yang dipompa keluar dari sumur, mengandung atau membawa unsur berbahaya bagi fasilitas produksi perusahaan yang melakukan eksploitasi. Unsur berbahaya tersebut dapat merusak suatu alat atau seluruh jaringan produksi suatu perusahaan. Salah satu unsur berbahaya tersebut adalah *wax*.

## 2.2 Petroleum Wax

Wax biasanya mengacu kepada substansi organik yang bersifat padat pada suhu ruangan, dan menjadi cair pada temperature tinggi. Komposisi kimia dari *wax* sangatlah kompleks, tetapi alkana normal akan selalu ada dalam proporsi yang tinggi dan memiliki berat molekul yang bervariasi. Sumber utama *wax* pada umumnya adalah minyak mentah, tetapi tidak selalu sumur minyak memproduksi *wax* tersebut.

*Paraffin* dan *microcrystalline waxes* didapat dari minyak bumi. Proses ekstraksinya mudah dan menawarkan berbagai macam propertis fisikal yang dapat diubah-ubah pada saat proses pemurnian. *Petroleum wax* dibedakan menjadi 2 jenis yaitu *paraffins*, yang memiliki karakter Kristal yang besar dan *well formed*, dan *microcrystalline*, yang memiliki titik didih yang lebih tinggi dan memiliki karakter

Kristal yang lebih kecil dan *irregular*. *Petroleum wax* dikategorikan sesuai dengan level pemurniannya. *Paraffin* tingkat tinggi memiliki kandungan minyak kurang dari 0.5% dan *microcrystalline* kurang dari 3%. Sebaliknya *slack wax*, berlawanan dengan pemurnian tingkat tinggi, memiliki kandungan minyak diatas 3% sampai titik tertinggi 35% dari massanya.

Penumpukan *paraffin* dapat menyebabkan beberapa permasalahan dalam kegiatan operasional yang mencangkup:

- Pengurangan diameter keseluruhan dari sistem perpipaan, yang disebabkan oleh penumpukan *paraffin* pada dinding pipa dan dapat berakhir pada penutupan seluruh aliran pada pipa.
- Meningkatkan kekasaran pada permukaan pipa, yang dapat meningkatkan *back pressure* yang mengakibatkan pengurangan debit pada *outlet*.
- Mengganggu fungsi katup dan sistem sensor.
- Meningkatkan kemungkinan terhentinya *pigs* saat melakukan inspeksi saluran pipa yang menyebabkan *pigs* harus dikeluarkan secara manual. (*downtime* meningkat). [4]

## 2.3 Gas Turbine Compressor

*Gas turbine* adalah suatu pembangkit energi yang besar sama seperti ukuran dan massanya yang besar. *Gas turbine* telah menjadi suatu alat yang dibutuhkan di beberapa industri, salah satunya pada industri *oil and gas*. *Gas turbine compressor*, merupakan suatu fasilitas produksi yang berfungsi untuk memompa atau mengalirkan fluida dari suatu titik ketitik lainnya. *Gas turbine compressor* bekerja menaikkan tekanan sehingga kecepatan fluida mengalir menjadi lebih besar dan memungkinkan untuk terjadinya perpindahan.

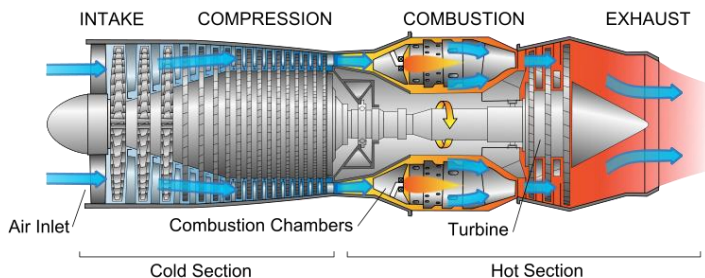
*Simple cycle gas turbine* diklasifikasi menjadi 5 grup:

1. *Frame Type Heavy-Duty Gas Turbine*. Memiliki dimensi yang sangat besar dan dapat membangkitkan daya dalam kisaran 3 MW sampai 480 MW dengan kisaran efisiensi antara 30-46%.
2. *Aircraft-Derivative Gas Turbine*. Seperti namanya, merupakan pembangkit daya yang umum digunakan pada industri pesawat terbang. Tipe ini mempunyai daya keluaran dalam kisaran 2.5 MW sampai sekitar 50 MW.
3. *Industrial Type-Gas Turbines*. Memiliki daya keluaran beragam antara 2.5 MW sampai 15 MW. Biasanya digunakan pada pabrik petrokimia untuk menggerakkan kompressor.
4. *Small Gas Turbines*. Turbin gas ini berada pada kisaran 0.5 MW sampai 2.5 MW. Biasanya memiliki kompressor sentrifugal dan turbin radial. Efisiensi dari turbin ini berada pada kisaran 15-25%.
5. *Micro Turbines*. Turbin gas ini berada pada kisaran 20kW sampai 350kW. Pembeliananya cukup meningkat sejak tahun 90-an pada pasar.

*Combustors* merupakan komponen dari gas turbin kompresor yang berfungsi untuk memberikan energi panas kepada gas turbin. *Combustors* menerima udara dari kompresor yang kemudian dipanaskan dan dialirkan ke gas turbin. Pada ruang bakar terjadi pembakaran langsung pada bahan bakar secara stoikiometri dengan satu per tiga udara *discharge* yang dilepaskan oleh kompresor. Pembakaran yang

terjadi adalah campuran antara carbon atau hidrogen dan oxigen yang menghasilkan karbon dioksida dan air. Hasil dari pembakaran ini kemudian akan dicampurkan dengan udara yang dialirkan oleh kompresor menuju turbin gas. Terdapat 3 bagian pada *Combustors* yaitu : zona resirkulasi (*recirculation zone*), zona pembakaran (*burning zone*) dan zona pengenceran (*dilution zone*).

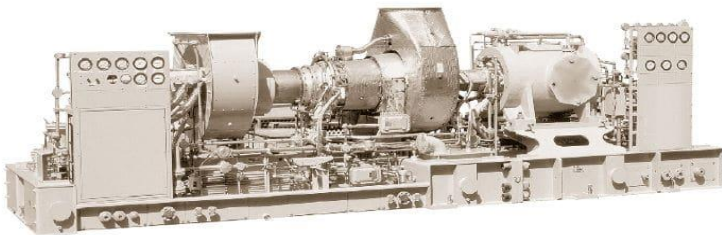
Zona resirkulasi berfungsi untuk menguapkan dan mempersiapkan pembakaran bahan bakar sisa yang ada pada zona pembakaran. Idealnya pada bagian akhir dari zona pembakaran semua bahan bakar yang ada sudah terbakar sehingga fungsi dari zona pengenceran adalah untuk mencampurkan gas panas hasil dari pembakaran dengan udara yang ditipiskan. Campuran yang dihasilkan dari ruang bakar memiliki temperature dan distribusi kecepatan yang dapat menggerakkan turbin. (**Gambar 2.1**)



**Gambar 2.1** Gas Turbin [5]

Pada turbin gas yang biasa digunakan pada industri petrokimia, digunakan kompresor sentrifugal **Gambar 2.2** sebagai alat untuk mengkompres fluida yang dialirkan. Kompresor ini digerakan dengan bantuan turbin gas. Kompresor sentrifugal umumnya digunakan untuk ratio tekanan yang lebih besar dan debit yang lebih kecil bila

dibandingkan dengan kompressor axial. Kompressor sentrifugal memiliki kisaran ratio tekanan dari 1:3 tiap tingkatnya, sampai dengan 12:1 pada model eksperimental. Pemilihan jenis dan tipe kompressor yang tepat pada suatu industri petrokimia sangatlah kompleks dan merupakan keputusan yang sangat penting. Kesuksesan suatu operasi pada suatu industri bergantung pada kemulusan dan efisiensi kerja dari suatu kompressor. Untuk memastikan bahwa pemilihan suatu kompressor adalah pilihan yang tepat dan juga memiliki perawatan yang bagus, maka dibutuhkan seorang insinyur yang handal dalam bidang ini.



**Gambar 2.2** *Gas Turbine Compressor* [5]

Pada kompresor sentrifugal, fluida masuk melalui *impeller* dengan memutar *impeller* secara cepat. Sebagian besar kecepatan yang mengalir akan diubah menjadi tekanan



pada *diffuser*. *Diffuser* pada dasarnya terdiri dari baling-baling yang merupakan tangensial dari impeller. Baling-baling kompresor tersebut dapat mengubah laju kecepatan aliran fluida menjadi energi tekanan. Resultan dari aliran yang mengalir dari impeller memiliki arah yang sama dengan bagian dalam baling-baling. Gas turbine engineering handbook, Meherwan P. Boyce [5]

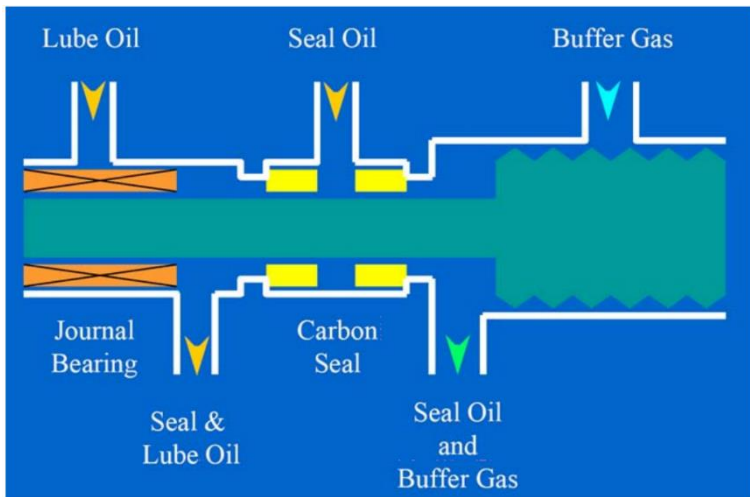
Kompresor dalam industri minyak dan gas sendiri pada umumnya mempunyai tugas untuk mengkompres fluida sampai pada tekanan yang diinginkan, sehingga fluida tersebut dapat mengalir dari suatu titik ke titik lainnya, dengan memperhatikan parameter lainya seperti temperature dan lain-lain. Fluida pertama masuk kepada bagian *suction* pada kompresor yang nantinya akan dikeluarkan melewati bagian *discharge* kompresor dengan tekanan yang lebih besar pada saat baru memasuki bagian *suction*.

## 2.4 Wet Seal System Kompresor

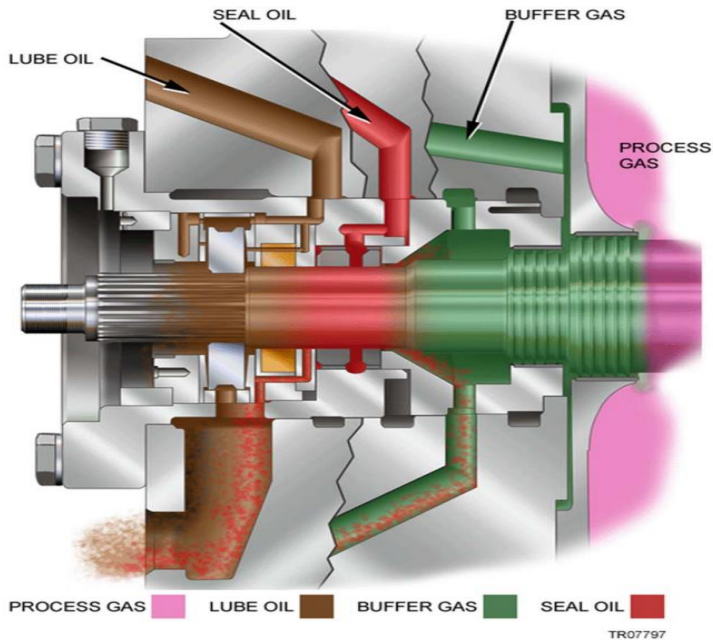
Sistem *seal* pada kompresor memiliki fungsi untuk mencegah proses gas yang mengalir, masuk kedalam system lubrikasi kompresor maupun sebaliknya. *Wet seal system* adalah system yang sudah marak digunakan sejak tahun 1970. Keburukan dari system *wet* adalah emisi metananya yang cukup besar sampai 200 scfm (*standard cubic feet per minute*).

Sistem *wet seal* menggunakan *seal oil* sebagai pembatas antara proses gas dan lubrikasi kompresor yang tersirkulasi dengan tekanan tinggi pada cincin poros kompresor yang nantinya akan membuat suatu penghalang terhadap kebocoran gas dan antara proses gas dan oli lubrikasi tidak bercampur **Gambar 2.3**. *Seal oil* sendiri merupakan campuran dari oli pelumasan dan *buffer gas*. *Buffer gas* merupakan proses gas yang diambil dari bagian *discharge* kompresor melalui suatu *tubing* yang nantinya tekananya akan diregulasi sehingga lebih besar sedikit (5-30 psi) dari tekanan pada bagian *suction*, hal ini dilakukan dikarenakan

prinsip fluida yang mengalir dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Dikarenakan tekanan pada bagian *discharge* yang jauh lebih besar dari bagian *suction* maka akan timbul gaya axial yang cenderung mengarah kepada bagian *suction*. Untuk menetralkan gaya tersebut, maka terdapat *balance piston* pada bagian *discharge* sehingga gaya axial tersebut besarnya tidak terlalu signifikan. *Buffer gas* pada sisi luar *balance piston* yang mengalami kebocoran kedalam bagian gas proses *discharge* akan dialirkan melalui *balance line* yang nantinya akan dimasukkan kembali ke bagian *suction* seperti dijelaskan pada **Gambar 2.4**

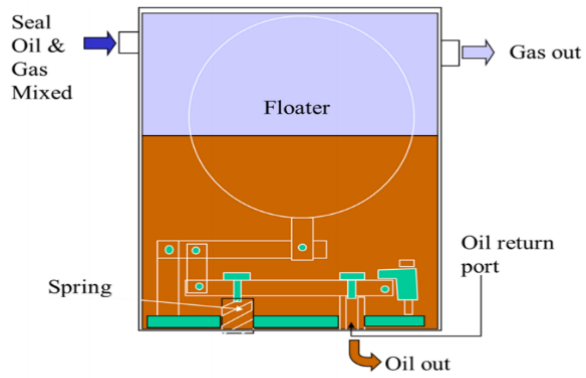


**Gambar 2.3** Skematik *Wet Seal* [1]



**Gambar 2.4** Seal Oil dan Buffer Gas Supply (Suction) [1]

Seal oil yang telah bercampur dengan buffer gas akan dialirkan menuju seal oil trap yang nantinya akan memisahkan antara fluida oli dengan fluida gas dengan alat yang disebut seal oil separator/trap pada **Gambar 2.5**. Alat tersebut memiliki sebuah floater yang akan terangkat apabila fluida oli telah berada pada level tertentu, sehingga membuat katup terbuka dan oli dapat mengalir untuk diregenerasi nantinya. Oli yang masuk tersebut akan ditampung sementara pada tangki oli. Fluida gas yang telah dipisahkan dari oli akan terangkat naik yang nantinya dan dimasukkan kembali kepada bagian suction kompressor untuk diproses kembali seperti pada proses lengkapnya pada **Gambar 2.6**.

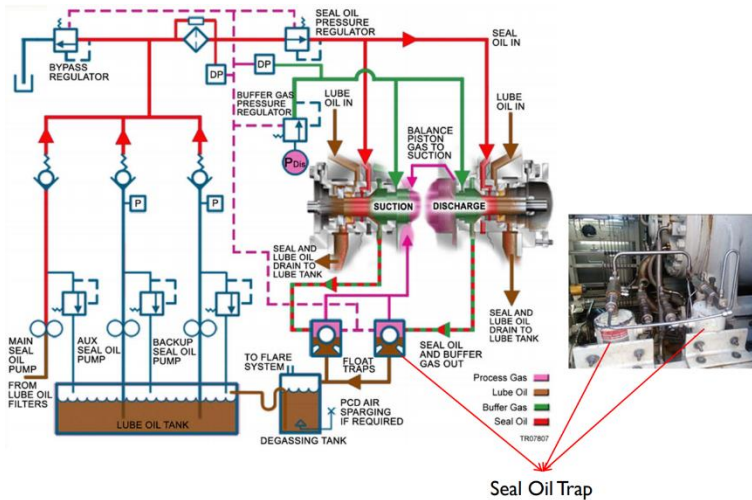


(a)



(b)

**Gambar 2.5 Seal Oil Separator/Trap [1]**



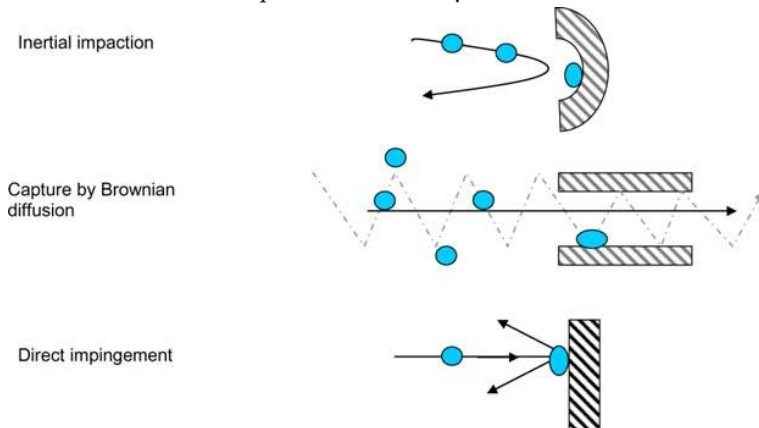
**Gambar 2.6** Skematik Diagram Wet Seal System [1]

## 2.5 Demister

*Demister* merupakan sebuah alat yang umum digunakan untuk menghilangkan unsur yang tidak diinginkan pada sebuah gas yang diproses. Unsur-unsur tersebut dapat berupa kotoran yang ikut mengalir bersama gas pada saat gas dialirkan melalui pipa yang panjang dari *reservoir* menuju *onshore receiving facility*. Unsur lainnya dapat berupa fluida yang ikut terangkat bersama gas (kondensat, *wax*, dan lain-lain), yang nantinya akan dipisahkan sehingga gas yang dijual kepada kostumer diharapkan merupakan gas yang baik.

Pada umumnya, terdapat 3 jenis *demister* yang biasa digunakan **Gambar 2.7** pada industri minyak dan gas. *Inertial impaction* merupakan salah satu jenis dari *demister* yang merubah arah aliran fluida secara tiba-tiba, sehingga partikel yang memiliki massa lebih berat dibandingkan fluida yang dibelokkan, akan terhempas dan menabrak dinding *demister*

sehingga partikel tersebut dapat terpisah. Jenis dari *demister* ini efektif digunakan untuk menghilangkan partikel yang berdiameter diatas 10  $\mu\text{m}$ . *Captured by Brownian Diffusion* mengarahkan fluida melalui ruang gerak yang sempit, sehingga berdiffusi dan menabrak permukaan *demister*. Partikel yang menabrak permukaan dari *demister* tadi akan kehilangan kecepatannya, sehingga dapat terpisahkan dari fluida yang mengalir. Efektif digunakan untuk partikel yang berukuran dibawah 5  $\mu\text{m}$ . *Direct impingement* merupakan tipe *demister* yang menabrakan fluidanya secara langsung kepada permukaan sehingga mengalami penurunan *terminal velocity* secara langsung. Massa jenis yang lebih berat mengakibatkan partikel tersebut terpisah dan jatuh kedalam penampungan. Efektif untuk ukuran partikel diatas 5  $\mu\text{m}$ .

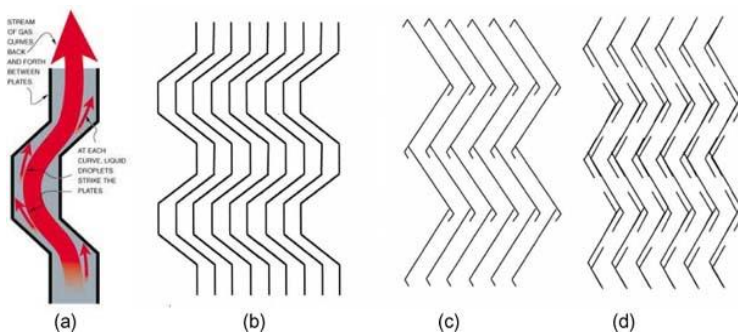


**Gambar 2.7** Jenis-Jenis *Demister* [6]

Pada efektifitas dari *demister* sendiri, dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jumlah bilah pada elemen, jarak antara bilah, sudut bilah, ukuran partikel yang akan dipisahkan.

### 2.5.1 Vane-Type Demister

Biasa disebut bilah pemisah, adalah *demister* yang menggunakan prinsip *direct impingement* **Gambar 2.8**. Bilah pemisah terdiri dari beberapa plat parallel yang memberikan sedikit ruang kepada fluida untuk mengalir. Plat biasa berbentuk *zig-zag* (“V”) ataupun berbentuk “W”, dengan sudut yang telah ditetapkan. Jalur fluida yang dibuat demikian, merupakan sarana untuk fluida dapat menabrakan dirinya sepanjang jalur tersebut sehingga arah fluida dapat berubah dan terjadi penurunan kecepatan sepanjang jalur tersebut. Partikel yang lebih berat akan dipisahkan oleh gaya sentrifugal dan jatuh kebawah menuju penampungan.



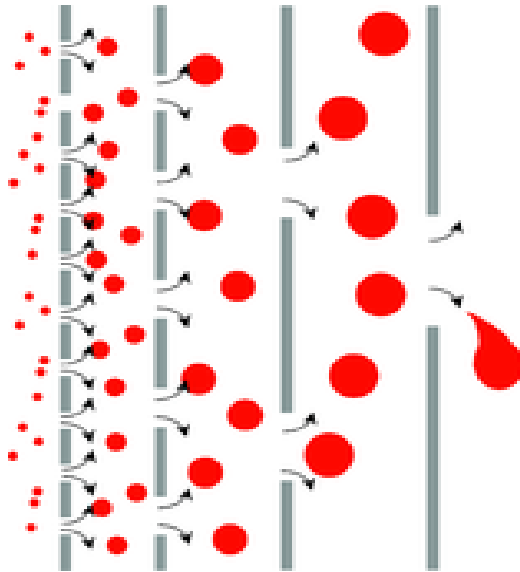
**Gambar 2.8** Vane-Type Demister [6]

### 2.5.2 Coalescer

*Coalescer* merupakan alat yang digunakan untuk memisahkan fluida yang menempel bersama fluida yang dialirkan **Gambar 2.9**. Alat ini terdiri dari

beberapa lapisan media penyaring yang memiliki pori-pori yang berbeda dalam ukuranya dari setiap lapisanya. Pori-pori tersebut memiliki diameter yang semakin besar, hingga pada akhirnya fluida yang lebih berat akan jatuh ketempat penampungan. *Coalescer* menggunakan serat pori dengan diameter terbesar 0.02 mm untuk dapat memisahkan fluida tersebut. Menggunakan prinsip *Brownian diffusion*, *coalesce* dapat memisahkan partikel fluida yang berukuran 0.1  $\mu\text{m}$ . Dengan melewati pori-pori yang semakin besar, partikel fluida akan bercampur dan memiliki massa yang lebih berat dari sebelumnya, sehingga dapat memisahkan antara partikel fluida tersebut dengan partikel gas yang diinginkan untuk di proses.





**Gambar 2.9** Prinsip Kerja dari *Coalescer* [6]

## 2.6 Penelitian Terdahulu

Pada jurnal ilmiah *Use of MXUC 3-1388 Paraffin Inhibitor Eliminates Catastrophic System Failure for the Operator* oleh Multi-Chem sebuah perusahaan dari Halliburton pada tahun 2016, mengatakan bahwa sebuah perusahaan pada lautan meksiko mengalami *plugging* yang disebabkan oleh *paraffin* pada pipa bawah laut yang dimilikinya.

Sebuah operator gas memiliki pipa pada perairan dalam lautan meksiko yang memiliki tekanan 14.000 psi dan temperature hingga 138 derajat celcius. Pada dugaan awal, permasalahan oleh penumpukan *paraffin* tidak disangka dapat menjadi ancaman dalam pengaliran fluida.

### 2.6.1 Penemuan Masalah

Pada produksi awal, terlihat bahwa kondensat memiliki kandungan *paraffin* lebih banyak dari yang

diantisipasi. Dibutuhkan mitigasi yang sesuai untuk menjamin mengalirnya fluida melalui pipa bawah laut. Pada keadaan ini, beberapa sirkumstansi meniadakan kemungkinan pemampatan dibersihkan dengan melakukan *pigging*. Temperatur kemunculan wax ditemukan pada 36 derajat celcius dengan metode *cross polarized microscopy* (CPM). Diklasifikasikan bahwa *paraffin* bersifat *high molecular weight* yang menempel pada dinding pipa yang menyumbat dan mengganggu kegiatan operasional dari operator tersebut.

## 2.6.2 Solusi yang Ditawarkan

Dalam sampel yang diteliti oleh Multi-Chem, ditentukan bahwa *chemical inhibitor* yang tepat adalah MXUC 3-1388 milik Multi-Chem sendiri yang mampu tetap stabil sampai 15.000 psi dan dengan viskositas kurang dari 100 cP pada 4 derajat celcius. Melalui pemodelan sempurna menggunakan OGLA *multiphase flow simulation software*, ditentukan bahwa perbedaan temperature maksimum antara kondensat dan dinding pipa adalah sebesar 11 derajat celcius mendekati temperature kemunculan wax. *Chemical inhibitor* direkomendasikan untuk di-injeksikan melalui katup injeksi kimia yang berada pada kedalaman 6000 ft. di bawah *mud line*. Temperatur pada titik injeksi diestimasikan sebesar 104 derajat celcius.

Beberapa volume endapan *paraffin* dan persebaran rantai karbon pada setiap endapan *paraffin*, dikumpulkan untuk dilakukan komparasi antara yang menggunakan *chemical inhibitor* MXUC 3-1388. Dengan 3000 *barrels* kondensat yang melewati sensor meter, terlihat bahwa minyak yang tidak di-injeksikan *chemical inhibitor*, menunjukan endapan *paraffin* yang sangat besar dan dapat diasosiasikan terhadap *plugging*. Sedangkan 3000 *barrels* yang di-injeksikan *chemical inhibitor*, menunjukan pengurangan signifikan terhadap endapan *paraffin* pada dinding-dinding pipa.



**Gambar 2.10** Penampang dinding pipa yang tidak di-injeksikan *chemical inhibitor* (kiri) dan yang di-injeksikan *chemical inhibitor* (kanan) [7]

Pada **Gambar 2.10** terlihat bahwa *chemical injection* dapat membantu menyelesaikan masalah *plugging* pada laju pipa bawah laut sehingga kegiatan operasional dapat berjalan dengan baik dan tidak adanya kehilangan kesempatan produksi bagi operator atau perusahaan.

### 2.6.3 Kesimpulan

Penyelesaian masalah dalam hal *paraffin* pada suatu system, dibatasi oleh biaya yang begitu tinggi dan solusi yang sangat banyak ditawarkan yang diasosiasikan dengan pembersihan secara kimia atau mekanis. Kegagalan dalam menyelesaikan masalah tersebut dapat menjadi hal yang buruk bagi sebuah operator, dalam hal ini kostumer dapat mengalirkan kembali fluidanya melalui pipa bawah laut tanpa harus mengkhawatirkan permasalahan *wax* pada jalur aliran.

Pada penelitian ini dibutuhkan sebuah *chemical inhibitor* dikarenakan posisi pipa yang berada jauh dibawah laut, yang menyebabkan perbaikan maupun pembersihan saluran pipa sulit untuk dilakukan dan membutuhkan biaya yang sangat mahal, untuk itu pembersihan menggunakan

cairan kimia merupakan cara yang tepat tanpa harus mengirim operator ke dasar laut untuk membersihkan pipa yang terdapat penumpukan *paraffin*. Selain metode cairan kimia, terdapat pula metode termal yaitu dengan mengalirkan cairan panas guna mencairkan *paraffin* menjadi fase cair kembali. Metode termal bila dibandingkan dengan metode cairan kimia memiliki kelemahan yaitu dikarenakan dalam mengalirkan cairan panas tersebut, maka operasional dapat terganggu untuk sementara. Dalam segi biaya, metode cairan kimia membutuhkan biaya yang lebih besar dikarenakan, sampel *paraffin* harus melewati tahap tes laboratorium terlebih dahulu untuk menemukan jenis cairan kimia yang cocok untuk memecah unsur *paraffin* pada pipa.

Dalam permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini, memiliki perbedaan dengan kasus yang ada pada jurnal terdahulu ini, yaitu pipa yang mengalami *plugging* pada penelitian ini berada diatas permukaan laut, dan merupakan bagian dari sebuah sistem kompressor. Pada saat terjadi *plugging* pada salah satu sistem kompressor, maka pembersihan dapat dilakukan dengan segera dikarenakan lokasinya yang jauh lebih mudah bila dibandingkan dengan yang berada dibawah laut. Bila metode kimia dilakukan pada kompressor, dapat mengganggu kinerja dari kompressor itu sendiri yang dikarenakan cairan kimia dapat masuk kedalam sistem kerja kompressor dan merusak komponen yang ada. Dilain sisi ketidak-cocokan lingkungan kerja, juga terdapat ketidak efisien-an dalam segi biaya yang dikarenakan volume penumpukan tidak terlalu signifikan untuk dilakukan metode cairan kimia.

#### **2.6.4 Hipotesa Awal**

Pada permasalahan yang terjadi dikompressor C-102, penumpukan wax terjadi pada saluran yang berada diatas permukaan laut, yang membuatnya lebih mudak untuk dilakukan tindakan bila dibandingkan dengan yang berada di bawah laut. Bila digunakan *chemical inhibitor* pada saluran

yang bermasalah tersebut tidaklah cukup, karena solusi tersebut hanya melarutkan *wax* sehingga tidak menumpuk pada suatu saluran bukan menyaringnya.

Dibutuhkan penyaring yang dapat memisahkan *wax* dengan fluida kerja, dan juga dapat menangkap segala kotoran dan partikel-partikel *solid* yang ikut terbawa bersama aliran fluida kerja sepanjang jalur pipa dari sumur hingga ORF

*Gas Conditioning Unit* yang terdiri dari *coalescer* dan *demister* mampu untuk melakukan tugas tersebut yaitu untuk memisahkan *wax* dan menangkap partikel *solid*. GCU sendiri memiliki dimensi yang jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan separator pada umumnya serta memiliki kompleksitas yang lebih kecil dalam hal pemasangan dan penempatan bila dibandingkan dengan separator.

## 2.7 Root Cause Analysis

*Root cause analysis* merupakan bagian dari beberapa langkah, untuk dapat menentukan dan menemukan penyebab dan solusi dari sebuah permasalahan yang timbul, yang telah diuji pada beberapa sistem manufaktur maupun pada bidang lainnya.

*Root cause analysis* (RCA) **Gambar 2.11** adalah proses yang didesain untuk digunakan dalam mengidentifikasi dan mengkatagorikan akar permasalahan dari sebuah kejadian yang berkaitan dengan kesehatan, keselamatan, lingkungan, kualitas dan reliabilitas. RCA merupakan salah satu alat bantu untuk mencari tau secara detail mengapa sebuah kejadian terjadi. Selain mengidentifikasi, RCA memiliki fungsi sebagai pencegah masalah tersebut dapat terjadi kembali.

Langkah-langkah dalam melakukan RCA adalah sebagai berikut:

1. *Data Collection*

Langkah pertama dari analisis adalah untuk mengumpulkan data. Tanpa data dan pemahaman yang kuat terhadap suatu permasalahan, akar

permasalahan dan faktor-faktor yang terlibat dalam suatu masalah tidak dapat diidentifikasi. Sebagian besar waktu yang dihabiskan saat investigasi adalah untuk pengumpulan data.

2. Casual Factor Charting

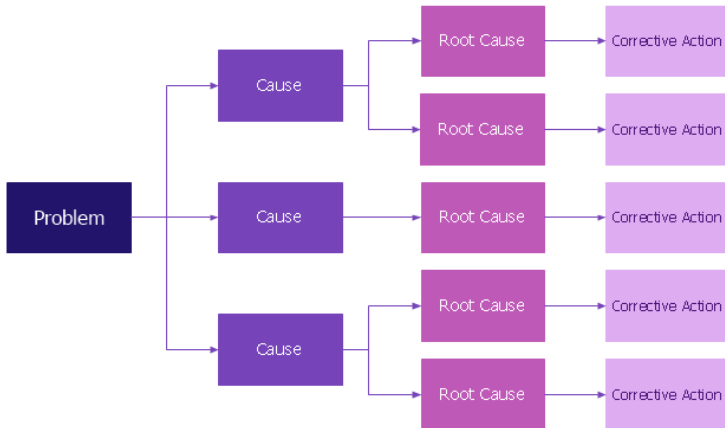
Memberikan struktur bagi investigator untuk menyusun dan menganalisa informasi yang diperoleh saat investigasi, dan mengidentifikasi segala *gaps* dan kekurangan informasi selama investigasi berlangsung. *The casual factor chart* adalah sekumpulan diagram yang runtut yang dilengkapi dengan penalaran atas mengapa sebuah kejadian dapat terjadi ditambah dengan lingkungan sekitar kejadian tersebut. Pengumpulan data berhenti sampai investigator merasa puas dengan tingkat ketelitian dari diagram tersebut. Saat semua data telah terorganisir dengan baik, maka investigator dapat mengidentifikasi penyebab utama suatu permasalahan dapat terjadi yang disebut faktor kasual. Faktor kasual adalah faktor yang disebabkan oleh kesalahan manusia atau kegagalan komponen alat, yang apabila faktor tersebut tidak ada, maka dapat mencegah suatu permasalahan dapat terjadi ataupun mengurangi dampak dari kejadian tersebut.

3. Identifikasi Akar Permasalahan

Setelah semua faktor kasual teridentifikasi, investigator mulai menganalisa akar permasalahannya. Tahap ini membutuhkan diagram keputusan untuk mengetahui penyebab adanya beberapa faktor kasual yang teridentifikasi. Diagram tersebut membantu investigator untuk menjawab “mengapa” permasalahan itu terjadi, sehingga permasalahan sekitar penyebab suatu kejadian untuk terjadi dapat ditemukan.

4. Rekomendasi dan Implementasi

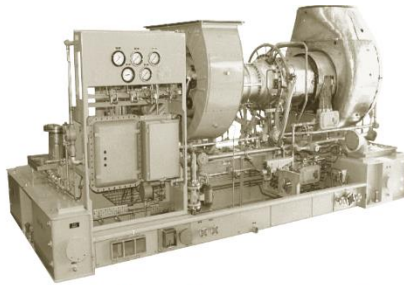
Langkah berikutnya adalah rekomendasi yang sesuai agar suatu permasalahan tidak akan terjadi kembali, atau dapat dicegah pada waktu yang akan datang



**Gambar 2.11** *Root Cause Analysis Tree Diagram*

## 2.8 Spesifikasi Kompresor yang Ditinjau

Kompresor yang ditinjau didalam penelitian ini merupakan *gas turbine compressor* yang dimanufaktur oleh *Solar Turbines*, sebuah anak perusahaan dari *Caterpillar* dengan seri *Centaur 50* yang memiliki spesifikasi seperti pada **Gambar 2.12**



### General Specifications

#### Centaur® 50 Gas Turbine

- Industrial, Two-Shaft
- Axial Compressor
  - 11-Stage
  - Variable Inlet Guide Vanes
  - Compression Ratio: 10.3:1
  - Inlet Airflow:
    - 18.4 kg/sec (40.6 lb/sec)
  - Max. Speed: 15,000 rpm
  - Vertically Split Case
- Combustion Chamber
  - Annular-Type
  - Conventional or Lean-Premixed, Dry, Low Emission (SoLoNOx™)
  - 12 Fuel Injectors
  - Torch Ignitor System
- Gas Producer Turbine
  - 2-Stage, Reaction
  - Max. Speed: 14,970 rpm
- Power Turbine
  - 1-Stage, Reaction
  - Max. Speed: 16,500 rpm
- Bearings
  - Journal: Tilting-Pad
  - Thrust, Active: Tilting-Pad
  - Thrust, Inactive: Fixed Tapered Land
- Coatings
  - Compressor: Inorganic Aluminum
  - Turbine and Nozzle Blades: Precious Metal Diffusion Aluminide
- Vibration Transducer Type
  - Velocity
  - Proximity Probes

### Key Package Features

- Driver Skid with Drip Pans
- Driven Equipment Skid
  - Compressor
  - Compressor Auxiliary Systems
- 316L Stainless Steel Piping ≤ 4" dia
- Compression-Type Tube Fittings
- Electrical System Options
  - NEC, Class I, Group D, Div 1
  - CENELEC, Zone 1
- Turbotronic™ Microprocessor Control System
  - Freestanding Control Console
  - Color Video Display
  - Vibration Monitoring
- Control Options
  - 24-VDC Control Battery/Charger System
  - Gas Turbine and Package Temperature Monitoring
  - Serial Link Supervisory Interface
  - Turbine Performance Map
  - Compressor Performance Map
  - Historical Displays
  - Printer/Logger
  - Predictive Emissions Monitoring
  - Process Controls
  - Compressor Anti-Surge Control
  - Field Programming
- Start Systems
  - Pneumatic
  - Direct Drive AC
- Fuel System
  - Natural Gas
- Integrated Lube Oil System
  - Turbine-Driven Accessories
- Oil System Options
  - Oil Cooler
  - Oil Heater
  - Tank Vent Separator
  - Flame Trap
- Axial Compressor Cleaning Systems
  - On-Crank
  - On-Crank/On-Line
  - Stationary Cleaning Tank
  - Portable Cleaning Tank
- Gearbox (if applicable)
  - Speed Increases
  - Speed Decreasers
- Air Inlet and Exhaust System Options
- Enclosure and Associated Options
- Factory Testing of Turbine and Package
- Documentation
  - Drawings
  - Quality Control Data Book
  - Inspection and Test Plan
  - Test Reports
  - Operation and Maintenance Manuals

(a)

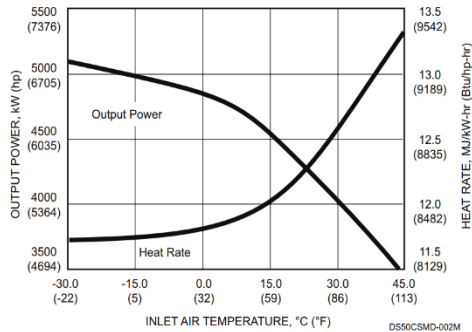


### Performance

Output Power	4570 kW (6130 hp)
Heat Rate	12 030 kJ/kW-hr (8500 Btu/hp-hr)
Exhaust Flow	67 760 kg/hr (149,380 lb/hr)
Exhaust Temp.	515°C (960°F)

Nominal Rating – per ISO  
At 15°C (59°F), at sea level  
No inlet/exhaust losses  
Relative humidity 60%  
Natural gas fuel with  
LHV = 5 MJ/nm<sup>3</sup> (940 Btu/scf)  
Optimum power turbine speed  
AC-driven accessories  
Engine efficiency: 29.9%

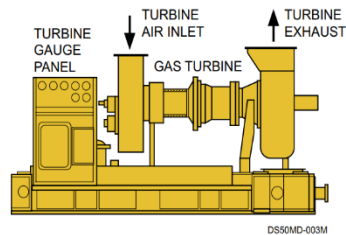
### Available Power



(b)

### Package Dimensions

Length: 5.6 m (18' 3")  
Width: 2.4 m (8' 0")  
Height: 2.7 m (8' 11")  
Typical  
Weight: 14 970 kg (33,000 lb)



(c)

**Gambar 2.12** Spesifikasi *Gas Turbine Compressor* yang Ditinjau a), (b) dan (c) [8]

GTC *Centaur* 50 telah beroperasi selama lebih dari 7 tahun sehingga memiliki berbagai macam penurunan baik dari segi efisiensi maupun performa dari tiap-tiap komponen yang dimilikinya. C-102 berfungsi sebagai *booster* untuk membantu mendorong gas hasil produksi menuju fasilitas penerimaan yang berada didaratan atau biasa disebut *onshore receiving facility* (ORF).

Memiliki kapasitas pengerjaan hingga 100 MMSCFD, kompressor C-102 setiap harinya memproses gas bumi hasil

produksi dengan rata-rata perbulanya 70 MMSCFD. Bilamana terdapat permasalahan yang memaksa alat atau sistem untuk melakukan *shutdown*, maka kinerja perusahaan dapat terganggu dan dapat mengalami kehilangan produksi yang dikarenakan C-102 tidak memiliki *backup* saat terjadi permasalahan sehingga pengiriman menuju fasilitas darat dapat terhambat.

Kompresor tipe *centaur* 50 memiliki sistem *seal* yang masih menggunakan sistem basah atau biasa di sebut *wet seal system*. *Seal* ini bekerja untuk menjaga agar proses oli pelumasan dan proses gas tidak bercampur satu sama lain. Media yang digunakan sebagai penghalang antara kedua proses tersebut adalah dengan menggunakan oli dan *buffer gas* yang tekananya telah dinaikan beberapa *psi* diatas tekanan kedua proses tersebut.

## 2.9 Perhitungan Diameter dan Tinggi Vessel Beserta Luasan Meshpad [9]

Dengan mengetahui diameter partikel ( $D_p$ ), maka dapat dicari *volumetric gas flow* dengan menggunakan rumus:

$$Q_A = \frac{M}{\rho_g} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana,

$Q_A$  : Gas flow (ft<sup>3</sup>/s)

$M$  : Mass flow (lb/s)

$\rho_g$  : Densitas gas (lb/ft<sup>3</sup>)

Langkah berikutnya yaitu mencari *terminal velocity* ( $V_t$ ), yaitu kecepatan kritikal dimana partikel akan jatuh dan tidak mengalir kembali bersama fluida. Kecepatan terminal dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$V_t = K \sqrt{\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g}} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana,

$\rho_l$  : Densitas gas (lb/ft<sup>3</sup>)

K : *sizing factor* dari *mesh pad* berjarak antara 0.22-0.39 (dimana semakin kecil nilai K, maka *droplet removal efficiencies* semakin besar)

Maka dapat dicarilah luasan dari *meshpad* minimum yang dibutuhkan yaitu dengan menggunakan rumus:

$$A = \frac{Q_A}{V_t} \dots \dots \dots (3)$$

Dengan diketahui luasan minimum dari *meshpad* tersebut, maka panjang dan diameter *vessel* dapat diasumsikan salah satunya untuk mencari dimensi minimum dari yang tidak diasumsikan dengan menggunakan rumus:

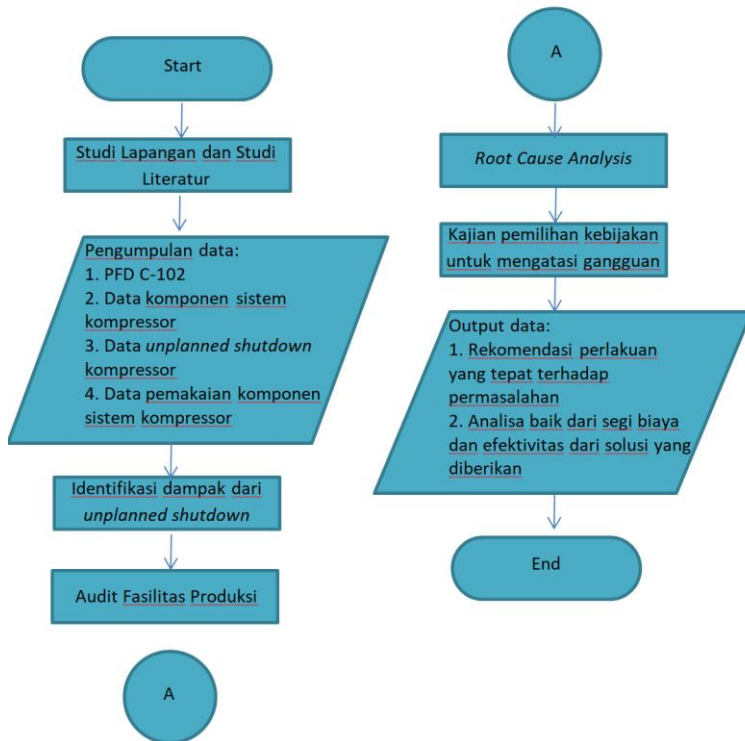
$$L = \frac{4 Q_A}{\pi V_t D_V} \dots \dots \dots (4)$$

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

Dalam mencapai tujuan dari penelitian ini, maka langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Prosedur Pengerjaan Tugas Akhir

Proses dalam penyelesaian tugas akhir ini melalui beberapa tahap sebagai berikut:

### 1. Studi Lapangan dan Studi Literatur

Studi lapangan dilakukan dengan cara mendatangi kantor pusat PT. PHE WMO di Jakarta dan *Onshore Receiving Facility* (ORF) milik PT. PHE WMO di Gresik, Jawa Timur. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan data dan pemahaman yang jelas akan permasalahan yang terjadi.

Studi literatur dilakukan dengan cara mencari dan mempelajari bahan pustaka yang menunjang dan berkaitan dengan pengerjaan tugas akhir ini. Sumber pustaka dari tugas akhir ini bersumber dari buku yang telah ada, dan publikasi-publikasi ilmiah

### 2. Pengumpulan Data

Pada tahap ini data yang dikumpulkan merupakan data yang berasal dari PT. PHE WMO terhitung sejak bulan Januari 2017 hingga Juli 2017. Data-data tersebut yaitu:

- 1) Gambar dan skema *process flow diagram* sistem kerja PT. PHE WMO dan kompressor C-102
- 2) Data komponen sistem kompressor C-102
- 3) Data *unplanned shutdown* kompressor C-102
- 4) Data pemakaian komponen pada kompressor C-102
- 5) Riwayat perawatan kompressor C-102

### 3. Mengidentifikasi Dampak dari *Unplanned Shutdown*

Tahap ini menjelaskan secara rinci dan spesifik terhadap dampak yang terjadi akibat *unplanned shutdown* pada kompressor C-102, baik dari segi operasional maupun dari segi kehilangan kesempatan produksi perharinya serta biaya yang harus dilakukan terhadap *unplanned shutdown* tersebut.

### 4. Audit Fasilitas Produksi

Pada tahap ini, data yang telah diperoleh akan diproses untuk mengetahui komponen dan sistem yang mengalami kerusakan sehingga analisa dan solusi yang tepat dapat dihasilkan

### 5. Root Cause Analysis

Tahap ini memberikan pemahaman yang lebih mendetail terhadap permasalahan yang terjadi dengan menggunakan metode *root cause analysis*. Metode RCA diharapkan dapat memberikan informasi terhadap akar permasalahan yang terjadi, sehingga permasalahan tersebut tidak akan terulang kembali maupun dapat diberikan solusi yang tepat atasnya.

### 6. Kajian Pemilihan Kebijakan untuk Mengatasi Gangguan

Berdasarkan data-data yang diperoleh, dan setelah dianalisa menggunakan RCA, maka

dapat ditemukan beberapa solusi terhadap permasalahan yang ada. Solusi-solusi tersebut dikaji kembali dari segi biaya dan efektivitas dan dipilih yang terbaik dalam menyelesaikan permasalahan tersebut.

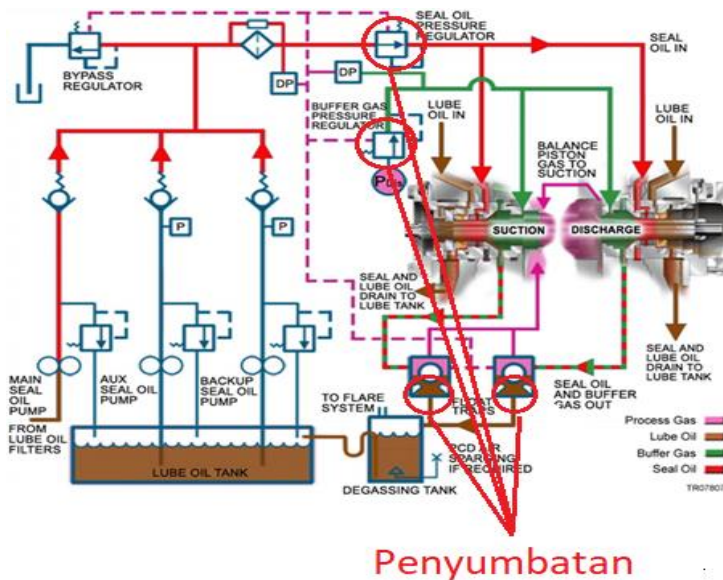


## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Identifikasi Faktor Permasalahan**

Permasalahan utama yang menjadi fokus pada penelitian ini adalah tersumbatnya beberapa saluran yang terdapat pada *wet seal system* milik kompressor C-102. Penyumbatan yang terjadi disebabkan oleh penumpukan *wax* atau *paraffin* kering yang terakumulasi seiring berjalanya waktu. Kandungan *wax* tersebut ikut terbawa bersama dengan gas mengalir, yang berasal dari sumur produksi. *Wax* tersebut dapat membeku dikarenakan terjadi penurunan suhu di beberapa titik pada saluran sistem dari *wet seal*. Penyumbatan tersebut mengakibatkan tidak dapat ter-regenerasi-nya oli pelumasan kompressor dikarenakan oli tersebut habis terkompresi bersama dengan gas proses menuju fasilitas darat di Gresik.



**Gambar 4.1** Penyumbatan pada *Wet Seal Oil System*

Seperti pada **Gambar 4.1**, dapat ditemukan penyumbatan yang terjadi pada empat titik didalam sistem *wet seal*. Penyumbatan yang terjadi pada *strainer* atau biasa disebut *seal oil trap*, menyebabkan pegas pada *float traps* tidak dapat terangkat dikarenakan *wax* atau *paraffin* menempel pada pegas tersebut sehingga fluida oli tidak dapat turun menuju *lube oil tank*, dan menyebabkan fluida oli tersebut naik menuju saluran gas proses dan ikut terkompresi bersama gas proses menuju fasilitas darat. Kehilangan oli pada sistem dapat menyebabkan sensor membaca permasalahan tersebut dan menyebabkan sistem ter-*shutdown* secara otomatis melalui sensor pembaca.

*Wax* atau *paraffin* yang berubah menjadi fase *solid*, menutup seluruh saluran tube yang dapat dilihat pada

**Gambar 4.2**, menyebabkan beberapa proses dalam sistem *seal* dapat terganggu.



**Gambar 4.2** Penyumbatan pada Sistem *Seal Oil*

Bisa terlihat bahwa padatan berwarna coklat tersebut adalah *wax* atau *paraffin* yang menumpuk pada saluran tersebut seiring berjalanya waktu. Kondisi tersebut memaksa sistem dan alat untuk melakukan penghentian operasi terhadap kompressor yang terpengaruh.

#### 4.1.1 Laboratorium Test

Pada tahun 2017, PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore melakukan tes laboratorium melalui PT. Intertek Utama Services untuk mengetahui kandungan yang mengalir bersama fluida gas yang akan di proses, sehingga akar permasalahan yang terjadi dapat segera ditemukan dan diatasi. *Sample* diambil pada tanggal 20 Maret 2017. *Sample* tersebut diambil dari buangan bahan bakar gas pada kompressor C-102 dan pada saat diambil berbentuk *liquid*. Memiliki penampilan endapan berwarna hitam dalam bentuk

*liquid. Sample* dipersiapkan dengan cara difilter, dikeringkan dan dihaluskan.



### ANALYSIS REPORT

**SAMPLE NO. :** PTR 01845  
**JOB NO :** PC170947  
**COMPANY:** PHE WMO

**SAMPLE DESCRIPTION :**

Product: Liquid  
 Sampling Point / Identity: Drain FG C-102  
 Sampling Date: 20-Mar-17  
 Sampling Time.: -

The above sample was tested on Sep-2017 in accordance with the test method(s) stipulated, with the result(s) as follow s:

TEST	METHODS	UNIT	SPECIFICATION	RESULT
Sulphur Content	ASTM D-4294	wt%	Report	0.3902
Wax	UOP 46-85	wt %	Report	0.063
Residual amine	Titrimetric	mg/L	Report	290
Asphaltene	ASTM D-6560	wt %	Report	0.082
HC C 36+ Including Aromatic	GC	wt %	Report	Attached
Scale Analysis	Wet Chemistry	wt %	Report	Attached
Finger Print	FTIR	-	Report	Attached

**REMARK :**

### **Gambar 4.3** Hasil Laboratorium dari *Drain Fuel Gas C-102*

Dapat dilihat pada **Gambar 4.3** adalah hasil analisa laboratorium untuk *sample* yang diambil pada *drain fuel gas C-102*. Dalam kolom tes kandungan *wax* didapatkan hasil *sample* bahwa kandungan *wax* ditemukan sebesar 0.063 persen dari berat fluida tersebut. Dan dalam kolom tes kandungan *asphaltene* didapat bahwa kandunganya didapatkan sejumlah 0.082 persen dari fluida tersebut. Walaupun dalam hasil tes laboratorium angka tersebut tidak terlalu besar, namun dalam skala besarnya gas proses yang dikompres setiap harinya dan juga seiring berjalanya waktu,

maka endapan-endapan kandungan *wax* dan *asphaltene* tersebut dapat terjadi pada beberapa saluran-saluran yang menyebabkan penumpukan dan penyumbatan yang sebelumnya telah diperhatikan.

Untuk mengetahui kandungan lainya seperti benda-benda padat yang ikut mengalir bersama proses gas, maka perlu melihat *scale/deposit analysis* yang ditampilkan pada **Gambar 4.4**, seperti kandungan besi maupun partikel *solid* lainya yang mana partikel tersebut juga berpengaruh terhadap kinerja kompressor.



### SCALE/DEPOSIT ANALYSIS

COMPANY		: PHE WMO		
SAMPLE DESCRIPTION		: Drain FG C-102		
Date Sampled		: 20-Mar-2017	Date Received	: 18-Sep-2017
Appearance as received		: Black deposit in liquid	Date Finished	: 02-Oct-2017
Sample Preparation		: Filtered, Dried and Grinded	Our Ref.	: PC 170947
			Our Login	: PTR 01845-10
Qualitative Analysis (Sample as Received)		Magnetic Properties	Negative	
		Carbonat Test	Negative	
		Suphide Test	Negative	
		% Weight		
Physical Analysis		Loss on Ignition @ 750 C	95.06	
Total Acid Soluble Material in HCL 15 %		Calcium,Ca	0.06	
		Magnesium,Mg	0.04	
		Barium,Ba	<0.01	
		Stronsium,Sr	0.02	
		Iron,Fe	0.16	
		Aluminium,Al	0.11	
		Sodium,Na	0.12	
		Potassium,K	0.11	
		Silicon,Si	0.04	
		Carbonate,CO2	<0.01	
		Sulphate,SO4	<0.01	
		Sulphide,H2S	<0.01	
HF Acid Treatment		Silica (HF Acid Treatment)	<0.01	
		Acid insoluble material as BaSO4	<0.01	
Water Soluble Material		Chloride	<0.01	
Total Acid Insoluble Material		Calcium,Ca	<0.01	
		Magnesium,Mg	<0.01	
		Barium,Ba	<0.01	
		Stronsium,Sr	<0.01	
		Iron,Fe	<0.01	
		Aluminium,Al	<0.01	
		Potassium,K	<0.01	
		Silicon,Si	<0.01	
Comment on analysis		Major component of sample are organic matter.		

**Gambar 4.4** *Scale/Deposit Analysis*

*Scale/deposit analysis* merupakan analisa terhadap partikel padatan yang ada pada *sample* yang diambil untuk

dianalisa. Dalam *sample* tersebut, terdapat kandungan *acid soluble* dan *insoluble material*. Besi (*Fe*) memiliki jumlah terbesar didalam *sample* yaitu sebesar 0.16 persen dari total berat diikuti oleh Sodium (*Na*), Potassium (*K*) dan Alluminium (*Al*) dengan jumlah yang ditemukan sebesar 0.14, 0.11 dan 0.11 persen dari total berat. Partikel padatan tersebut bila bercampur dengan *wax* serta *asphaltene* dapat menyebabkan penumpukan yang semakin merusak *regulator* serta tubing-tubing maupun *seal oil trap* sendiri. Partikel tersebut dapat menempel dan merusak sistem kompresor sendiri dengan menempelkan dirinya terhadap bilah-bilah yang terdapat pada kompresor. Bila yang tertempel pada bilah tersebut sangat banyak, maka sensor akan mendeteksi getaran yang tidak normal yang memaksa sistem kompresor harus mematikan kinerjanya guna mencegah kerusakan yang lebih fatal.

#### 4.1.2 5 WHYs Analysis and Root Cause

**Tabel 4.1** 5 WHYs Analysis dan Root Cause

##### 5 WHYs

1.Why	- Kenapa unit terjadi Unplanned Shutdown?	-Karena ada indikasi SEAL_OIL_LOW_LOW pada alarm log
2.Why	- Kenapa terjadi indikasi SEAL_OIL_LOW_LOW pada alarm log?	- Karena terjadi penurunan level pada oil tank
3.Why	- Kenapa	- Karena oli tidak dapat ter-

	terjadi penurunan <i>level</i> pada <i>oil tank</i> ?	regenerasi dengan baik
4.Why	- Kenapa oli tidak dapat ter-regenerasi dengan baik?	- Karena <i>seal oil trap</i> tertutup, <i>floaters</i> tidak mau mengangkat
5.Why	- Kenapa <i>seal oil trap</i> tertutup, <i>floaters</i> tidak mau mengangkat?	- Karena terjadi penumpukan atau endapan <i>wax</i> pada pegas <i>floaters</i> yang bercampur dengan <i>acid soluble materials</i> (Fe, Al, K, Na dan lain-lain) yang dibawa oleh proses gas, yang mengakibatkan <i>floaters</i> tersangkut

<b><u>Root Cause</u></b>	- Wax Deposition on Seal Oil Trap
<b><u>Immediate Action</u></b>	- Implementasi fasilitas produksi yang dapat menyaring <i>acid soluble materials</i> serta <i>wax</i> dan <i>asphaltene</i> yang mengalir bersama gas proses

Pada table **Tabel 4.1** identifikasi akar permasalahan menggunakan metode *5WHYs Analysis* ditemukan bahwa akar permasalahannya adalah penumpukan endapan *wax* dan *asphaltene* pada pegas *floaters* yang bercampur dengan *acid soluble materials* (Fe, Al, K, Na dan lain-lain) yang dibawa oleh proses gas, yang mengakibatkan *floaters* tersangkut dan tidak mau mengangkat. Pada tahap ini didapatkan bahwa menghilangkan atau menyaring *wax* serta *asphaltene* saja tidaklah cukup dikarenakan terdapat pula partikel-partikel padat yang dapat menimbulkan masalah pada kompresor dalam jangka panjang. Maka dibutuhkan suatu implementasi baru atas suatu fasilitas produksi yang dapat menyaring *acid*



*soluble materials* tersebut dan juga *wax* serta *asphaltene* yang ikut mengalir bersama proses gas sebelum gas tersebut masuk kedalam kompressor.

Dalam melakukan kajian terhadap pemilihan investasi yang tepat, selain melihat efektifitas alat tersebut bekerja, perlu diperhatikan pula faktor produksi yang hilang serta biaya yang akan dikeluarkan. Untuk menemukan investasi yang tepat tersebut, maka perlu perbandingan akan data perbaikan (*maintenance*) sementara selama ini dengan biaya investasi serta waktu yang dibutuhkan dari suatu investasi tersebut.

## 4.2 Analisis Biaya Solusi Sementara

Guna menjaga agar fasilitas produksi tetap berjalan seperti pada fungsinya dan juga menjaga agar operasional dari PT. PHE WMO tetap berjalan sesuai target, maka perbaikan sementara dalam menanggulangi penumpukan *wax* harus segera dilakukan. Perbaikan atau solusi sementara tersebut membutuhkan biaya yang mencakup dari segi sukucadang, upah teknisi dalam, upah teknisi luar, maupun logistik dari darat kelaut maupun logistic udara untuk beberapa kasus tertentu. Biaya tersebut juga dapat dipengaruhi dari berapa lama *shutdown* dilakukan yang berhubungan dengan lamanya jasa-jasa yang disewa untuk menunjang proses tersebut.

Dalam 6 kali kejadian *unplanned shutdown* yang diamati, didapatkan beberapa biaya yang telah dikeluarkan, maupun data lamanya terjadi *shutdown* dan juga data kehilangan kesempatan produksi gas yang harus ditanggung perusahaan akibat *unplanned shutdown* tersebut.

**Tabel 4.2** Analisa Biaya dan Kehilangan Kesempatan Produksi *Unplanned Shutdown*

Tanggal	Durasi Shutdown (Hours)	Kehilangan Kesempatan Produksi Gas	Solusi Sementara	Biaya Solusi Sementara (USD)
---------	-------------------------	------------------------------------	------------------	------------------------------

		(MMSCF)		
23-Jan-17	6	17.5	Bongkar seal oil trap dan membersihkannya	5000
20-Feb-17	12	35		10678
28-Mar-17	8	23.33		7500
22-Apr-17	10	29.167		9550
25-May-17	12	35		11000
10-Jun-17	6	17.5		5500
<b>TOTAL</b>	<b>54</b>	<b>157.497</b>		<b>49,228</b>

Pada (Tabel 4.2), dapat dilihat bahwa dalam 6 kali kejadian *unplanned shutdown* terdapat total *shutdown* selama 54 jam. Dalam kurun waktu tersebut terjadi kehilangan produksi sebesar 157.497 MMSCFD yang jika dalam sehari dapat berproduksi sampai dengan 70 MMSCF, maka kehilangan kesempatan produksi tersebut setara dengan kurang lebih 2 hari kerja operasional dari kompresor C-102.

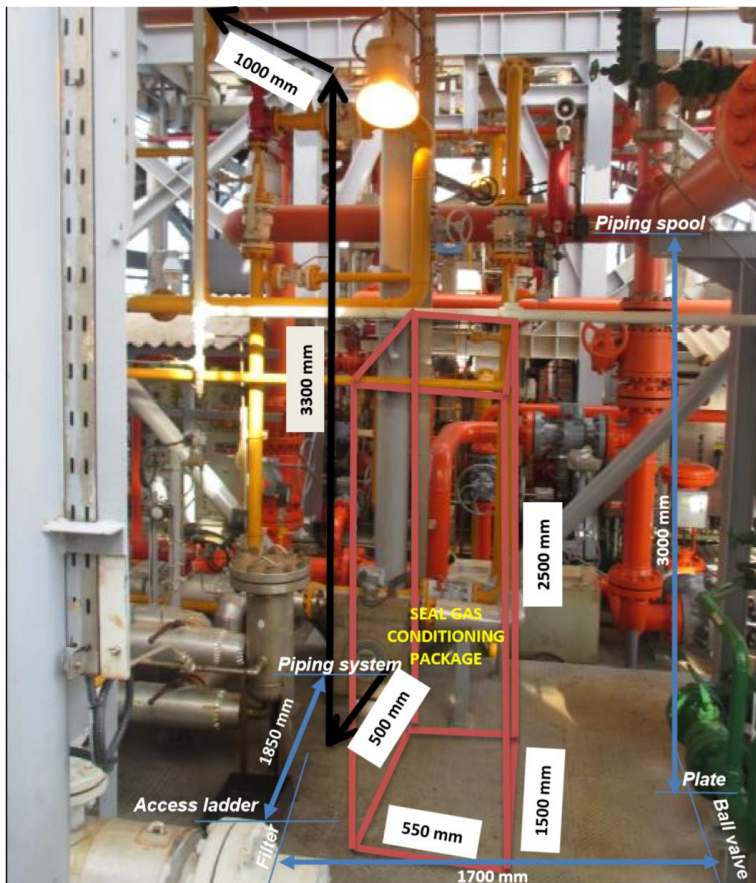
Pada Tabel juga dapat dilihat bahwa total biaya yang harus dikeluarkan perusahaan dalam menanggulangi permasalahan yang ada pada kompresor C-102 secara sementara adalah dengan membongkar *seal oil trap* dan dilakukan pembersihan terkait saluran-saluran yang bermasalah, maupun saluran dan *pressure regulator* yang juga ada pada sistem tersebut. Total biaya tersebut adalah sebesar 49,228 USD atau dalam rupiah dengan menggunakan kurs Rp. 13,561,- (tanggal 21 Desember 2017) sebesar Rp. 667,580,908,-. Total biaya tersebut dapat diinvestasikan menjadi sebuah solusi yang utuh sehingga diharapkan bahwa permasalahan yang serupa tidak dapat terjadi pada kompresor C-102 kembali dan perusahaan tidak harus mengeluarkan biaya setiap bulanya untuk mengatasi gangguan *unplanned shutdown* tersebut.

Berdasarkan kontrak jual beli gas yang dimiliki PT. PHE WMO terdapat beberapa harga gas yang dijual kepada beberapa user, menurut ketentuan pemerintah adalah rata-rata pada 7 USD/MMscf. Dari total kehilangan kesempatan produksi tersebut maka dapat dikonversikan bahwa PT. PHE WMO kehilangan kesempatan untuk memperoleh sekitar 1.102,5 USD atau setara dengan 14.793.345 Rupiah mengikuti kurs tanggal 21 Desember. Nominal tersebut juga dapat dikatakan bahwa kerugian bagi user yang tidak mendapatkan asupan gas yang cukup pada hari itu dikarenakan suplai gas bumi dari PT. PHE WMO yang terhalang oleh *downtime* pada kompressor C-102. Disisi lain dengan terhalangnya suplai gas oleh PT. PHE WMO, maka dapat menyebabkan kinerja user juga akan terganggu.

### 4.3 Analisis Solusi Permasalahan

Dalam menghasilkan gas yang kering dan bersih dari partikel yang dapat mengganggu kinerja kompressor, maka diperlukan solusi berupa peralatan tambahan yang dapat diimplementasikan guna mencapai tujuan tersebut. Solusi tersebut harus mencakup penyaringan baik fluida yang masih mengalir bersama gas proses maupun partikel lainnya seperti *wax* dan *acid soluble materials* yang ikut terbawa bersama gas proses.

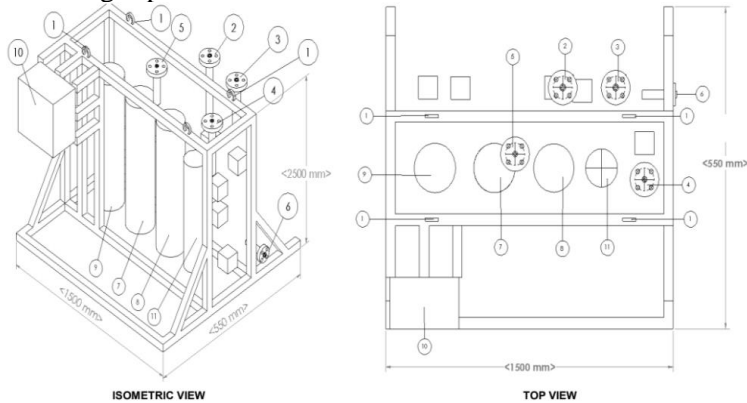
Salah satu kendala yang terjadi adalah bahwa sisa ruang yang ada pada lapangan CPP kompressor C-102 hanyalah terbatas dikarenakan fasilitas produksi yang begitu banyak. Ruang yang tersedia hanyalah sebesar 1700 mm lebar x 1850 mm panjang x 3000 mm tinggi. Setelah dihitung bersama akses personil beserta peralatan *gas conditioning package* yang diestimasi berdimensi sekitar 550 mm lebar x 1500 mm panjang x 2500 mm tinggi **Gambar 4.5**, maka pemasangan *gas conditioning unit* dapat dan mungkin untuk dilakukan menurut sisa ruang yang ada pada lapangan CPP



**Gambar 4.5** Sisa Ruang dan Estimasi Dimensi dari GCU

*Gas conditioning unit* merupakan suatu peralatan yang dimaksudkan untuk mengkondisikan gas proses sehingga gas tersebut mengalir dalam keadaan kering dan bersih. Biasanya terdiri dari *heater* yang digunakan untuk menjaga suhu gas tetap dalam spesifikasi yang ditetapkan

manufaktur kompresor dan *filter* yang terdiri dari *vane-type* dan *coalescer* untuk menyaring fluida serta padatan yang ikut terbawa gas proses.



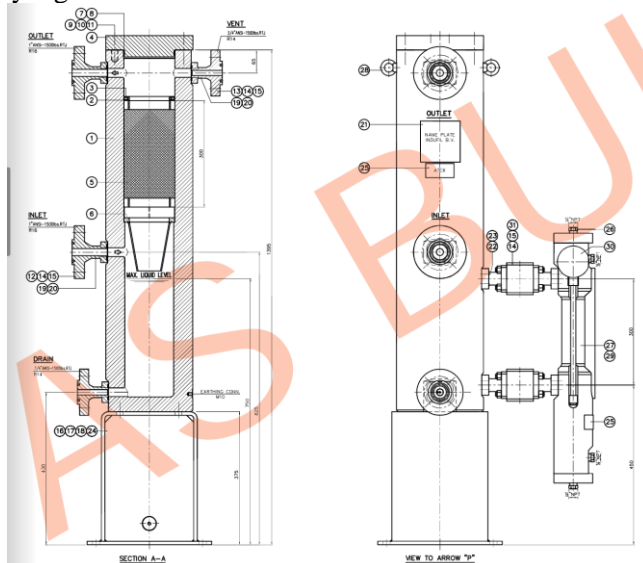
**Gambar 4.6** Gambar Rancangan Awal GCU

Filter yang digunakan pada *gas conditioning unit* ini bersifat *consumable* atau dapat diganti bilamana filter tersebut telah rusak maupun sudah tidak dapat berfungsi dengan baik dan optimal. *Gas conditioning unit* ini dirancang dengan menggunakan 2 filter yang bekerja secara bergantian bilamana salah satu filter mengalami proses perawatan, maka filter lainnya akan dioperasikan sehingga kegiatan operasi perusahaan dapat berjalan dengan baik tanpa adanya hambatan ataupun kehilangan kesempatan produksi yang besar seperti pada **Gambar 4.7**. Filter tersebut dinyatakan oleh vendor bahwa cukup diganti setiap 6 bulan sekali dan tidak membutuhkan proses yang rumit dan untuk perawatannya sendiri hanya membutuhkan operator *in-house* sehingga tidak perlu mengeluarkan biaya untuk mendatangkan teknisi ahli dari luar atau *outsourcing*.

Untuk meningkatkan efisiensi filter, maka digunakan *heater* sebelum memasuki proses filter seperti pada **Gambar**

**4.6.** *Heater* tersebut digunakan untuk menaikkan suhu fluida menjadi *super-heated* sehingga kandungan *wax* yang ada mengalir bersama fluida menjadi fase *saturated* dan menjadi tersaring dengan mudah oleh *coalesce* yang ada.

Pemasangan GCU sendiri tidak memerlukan banyaknya biaya dikarenakan dapat digunakan *crane* yang ada pada *platform* dikarenakan ukurannya yang tidak besar sehingga tidak perlu *outsourse* kapal *crane*. Logistiknya dari darat hanya membutuhkan kapal kecil yang biaya sewanya relatif lebih murah bila dibandingkan dengan implementasi alat yang lebih besar.



**Gambar 4.7** Salah Satu Contoh Filter yang Dapat Digunakan Berdasarkan Tawaran Manufaktur [10]

#### **4.4 Analisis Perhitungan Dimensi Filter Vessel dan Luasan Meshpad**

Sesuai dengan apa yang telah ditetapkan oleh manufaktur, Spesifikasi gas yang dinyatakan aman untuk melewati peralatan adalah sebagai berikut

Pada **Tabel 4.3** terlihat bahwa besar partikel yang ada pada aliran gas proses harus secara absolut lebih kecil dari 2 mikron. Didasari oleh hal itu maka dibutuhkan filter dengan asumsi untuk menyaring besar partikel 2 mikron. Menurut *GPSA Engineering Data Book 12th edition 2004, section 7*, dapat dicari diameter dari vessel dan panjang dari vessel tersebut sehingga diharapkan dapat efektif dalam menyaring segala partikel yang lebih besar dari 2 mikron.

[illegible]

Dioperasikan dengan *operating pressure* 561 psig dan *operating temperature* 138 °F maka dengan data yang ada dapat dihitung untuk kebutuhan diameter dan panjang *vessel* dengan propertis seperti pada **Tabel 4.4**

Dengan asumsi ingin menyaring segala partikel dengan besar absolut 2 mikron maka diameter partikel ( $D_p$ ) didapatkan,

$$D_p = 2\mu = \mathbf{0.00000656 \text{ ft}}$$

Maka setelah diameter dari partikel didapatkan, dapat mencari debit gas dengan rumus (1),

$$Q_A = \frac{M}{\rho_g}$$

$$Q_A = \frac{0.33}{2.14} = \mathbf{0.1542 \text{ ft}^3/\text{s}}$$

#### 4.4.1 Analisa Menggunakan *Mist Extractor (Meshpad)*

Luasan dari *meshpad* dapat dicari dengan mencari *terminal velocity* ( $V_t$ ) terlebih dahulu, yaitu adalah kecepatan kritis gas dimana partikel dengan besar  $D_p$  dapat jatuh atau berpisah dengan gas, dengan menggunakan rumus (2),

$$V_t = K \sqrt{\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g}}$$

$$V_t = 0.39 \sqrt{\frac{61.92 - 2.14}{2.14}}$$

$$V_t = \mathbf{2.061 \text{ ft/s}}$$



Setelah didapatkan  $V_t$ , maka dapat dicari  $A$  yaitu luasan *mesh pad* atau luasan *wiremesh* efektif yang akan digunakan didalam filter dengan rumus (3),

$$A = \frac{Q_A}{V_t}$$

$$A = \frac{0.1542}{2.061}$$

$$A = 0.075 \text{ ft}^2$$

Dikarenakan ruang yang begitu terbatas pada fasilitas produksi CPP, maka tinggi filter tidak boleh melebihi 2500 mm (rencana awal tinggi GCU) atau setara 8.2 feet. Maka dapat diasumsikan tinggi filter yang direncanakan hanya setinggi 2000 mm atau setara 6.56 feet. Maka dapat dicari diameter filter atau diameter *vessel* ( $D_V$ ) dengan rumus (4),

$$L = \frac{4 Q_A}{\pi V_t D_V}$$

$$D_V = \frac{4 Q_A}{\pi V_t L}$$

$$D_V = \frac{4 (0.1542)}{\pi 2.061 6.56}$$

**$D_V = 0.015 \text{ ft} \rightarrow$  Diameter *vessel*  
minimum untuk tinggi 6.56 feet.**

#### 4.5.1 Analisa Volume Efektif Filter Terhadap Penumpukan Wax.

Pada **Gambar 4.3**, dapat dilihat bahwa kandungan *wax* terdapat pada 0.063 wt% dan kandungan *asphaltene* pada 0.082 wt%. Dapat dikatakan secara tidak langsung bahwa terdapat 0.145 wt% dari fluida yang mengalir terdapat kandungan atau partikel yang dapat mengganggu kinerja kompressor yang harus dihilangkan.

Bila kita asumsikan bahwa tinggi filter yang kita inginkan adalah 2000mm, maka tinggi dari *mist extractor* sendiri dapat diasumsikan 1000mm atau setara dengan 3.28 feet. Dapat diasumsikan pula dikarenakan lebar GCU yang diinginkan adalah 1500mm, maka diameter dari *mist extractor* adalah 200mm atau setara dengan 0.656 feet. Dengan menghitung Luasan dan dikali tingginya maka kita mendapatkan volume efektif dari *mist extractor* tersebut,

$$\begin{aligned} Volume &= \pi r^2 h \\ &= \pi (0.328)^2 3.28 \\ &= 1.11 \text{ feet}^3 \end{aligned}$$

Fluida memiliki *volumetric flow rate* sebesar 0.15 ft<sup>3</sup>/s. Dengan diketahui bahwa dalam laju aliran volume tersebut, terdapat 0.145 wt% massa aliran yang tidak diinginkan.  $0.15 \times 0.145\% = 0.0002175 \text{ ft}^3/\text{s}$ .

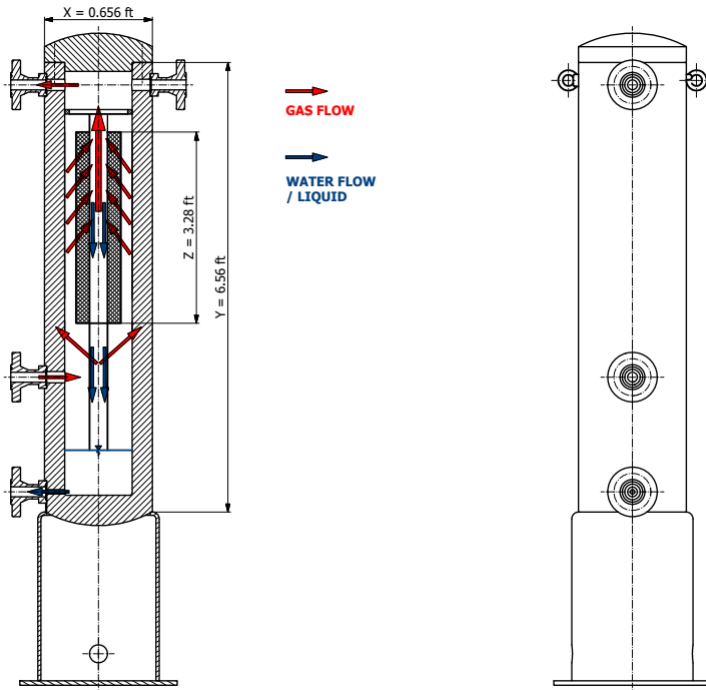
Maka dengan volume efektif dibagi dengan *volumetric flow rate* didapatkan dalam detik brapa lama volume efektif dari *mist extractor* tersebut akan penuh tertutup atau *plugged* dikarenakan *wax* dan *asphaltene*.

$$\begin{aligned}
 & \frac{1.11}{0.0002175} \\
 &= \frac{5103.45 \text{ second}}{3600 \text{ second}} \text{ hours} \\
 &= 1.42 \text{ hours}
 \end{aligned}$$

Dari analisa tersebut didapatkan bahwa volume efektif dari *mist extractor* akan penuh oleh partikel *wax* dan *asphaltene* setelah 1.42 jam beroperasi (dengan asumsi 100% partikel akan menempel bila melewati filter). Maka untuk mencegah umur yang begitu pendek, ditambahkan sebuah *heater* sebelum memasuki proses filter sehingga diharapkan fase dari *wax* tersebut saat melewati filter jauh dari fase mengkristal dia atau dari temperatur membekunya.

#### 4.4.2 Ilustrasi Desain Filter Menurut Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan yang sudah di dapat, maka ilustrasi dari filter tersebut dapat dibuat dengan mengacu kepada dimensi-dimensi yang telah ditetapkan pada perhitungan.



**Gambar 4.8** Ilustrasi Desain Filter yang Dapat Digunakan

Ilustrasi dari filter ini menggunakan dimensi yang telah digunakan untuk menghitung luasan area yang dapat terpengaruhi pada **sub-bab 4.4.2**, dengan tinggi filter 6.56 feet dan tinggi *meshpad* setengah dari tinggi filter, yaitu 3.28 feet. Diameter dari filter sendiri diasumsikan kurang lebih sama dengan diameter *meshpad* yaitu 0.656 feet. Berdasarkan gambar ini dapat diperjelas akan konsep filter yang dapat digunakan perusahaan beserta dimensinya

#### 4.5 Analisis Biaya pemasangan GCU

Dalam pemasangan GCU, terdapat beberapa parameter biaya yang harus dikeluarkan perusahaan. Biaya tersebut mencakup biaya investasi, biaya pemasangan dan tenaga kerja, serta biaya perawatan yang mungkin dikeluarkan oleh perusahaan tiap beberapa periode

**Tabel 4.5** Estimasi Biaya Pemasangan dan Perawatan GCU

<b><i>Gas Conditioning Unit</i></b>	
Investasi Awal (USD)	200,000.-
Instalasi (USD) <i>manpower, logistics, etc</i>	50,000.-
Perawatan (USD) <i>Penggantian filter 6 bulan sekali</i>	5,000.-
<i>Downtime saat Instalasi (Hours)</i>	4
Estimasi Kehilangan Kesempatan Produksi saat <i>Downtime (MMSCFD)</i>	11.667

Bila dibandingkan pada **Tabel 4.5** dengan total biaya yang telah dikeluarkan perusahaan pada saat perbaikan dengan solusi sementara, total biaya perbaikan yang telah di keluarkan adalah sebesar 49,228 USD. Nominal tersebut hampir mendekati lima puluh ribu USD yang mana sebanding

dengan total biaya instalasi yang dibutuhkan untuk memasang GCU.

GCU memiliki biaya perawatan yaitu penggantian filter yang telah dijanjikan manufaktur untuk terjadi selama 6 bulan sekali dikarenakan tipe filter yang *consumable* dengan biaya perawatan sekitar 5000 USD. Pada saat solusi sementara lebih dari 5000 USD dikeluarkan hanya untuk perbaikan sementara selama kurang lebih 1 bulan sekali, dengan implementasi GCU maka biaya tersebut dapat dikecilkan dan hanya dilakukan selama kurang lebih 6 bulan sekali.

Estimasi kehilangan kesempatan produksi pada saat instalasi hanya sebesar 11.667 MMscfd, bila dibandingkan pada saat *downtime* selama GCU belum dipasang selama 6 bulan adalah sebesar 157.497 MMscfd, angka tersebut terpaut lebih dari 10x bila dibandingkan perkiraan *downtime* saat pemasangan.

Mengikuti harga jual gas PHE WMO kepada *user* adalah 7 USD, maka nominal estimasi kehilangan keuntungan pada hari pemasangan GCU adalah sekitar 81.7 USD atau setara dengan 1,096,250 Rupiah (mengikuti kurs pada tanggal 21 Desember 2017). Nominal tersebut masih jauh dari nominal ketika terjadi *unplanned shutdown* selama 6 bulan berturut-turut.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang didapat setelah melakukan penelitian ini adalah:

1. Faktor-faktor penyebab terjadinya *unplanned shutdown* pada kompressor C-102 adalah dikarenakan penumpukan *wax* dan *acid soluble and insoluble material* pada *floater seal system* yang menyebabkan *floater* tersebut tidak mau terangkat, dan oli tidak dapat teregenerasi dengan baik. Oli yang tidak dapat teregenerasi tersebut menyebabkan sistem kehabisan oli dan muncul indikator *SEAL\_OIL\_LOW\_LOW* yang menyebabkan kompressor mengalami *unplanned shutdown*.
2. Dikarenakan harus menyaring partikel-partikel yang dapat mengganggu kerja kompressor, maka dibutuhkan sebuah *filter* yang dapat menghilangkan fluida dan partikel solid yang dapat berdampak negative pada kompressor. GCU merupakan salah satu solusi yang tepat dikarenakan ruang yang tersedia sangat terbatas dan biaya yang dibutuhkan tidak terlalu besar, dibanding dengan kerugian yang telah dikeluarkan perusahaan sebesar 49,228 USD dengan kehilangan kesempatan produksi dengan total 157.497 MMscf seharga 14,793,345 Rupiah, GCU memiliki total investasi sebesar 250,000 USD dan perkiraan kehilangan kesempatan produksi saat instalasi sebesar 11.667 MMscf dengan perawatan yang hanya dibutuhkan setiap 6 bulan sekali dengan biaya 5,000 USD. Selama perawatan, kompressor tidak harus mengalami *downtime* dikarenakan sistem GCU yang memiliki 2 filter bekerja bergantian.

3. Filter yang digunakan harus menggunakan *mist extractor* dengan luasan area *meshpad* sekitar  $0.075 \text{ ft}^2$  dengan panjang atau tinggi *vessel* 6.56 feet dan diameter minimum *vessel* 0.015 feet.
4. Dibutuhkan *heater* sebelum memasuki proses filter sehingga volume efektif dari *mist extractor* tidak tertutup penuh oleh *wax* setelah 1.42 jam beroperasi (diasumsikan bila *mist extractor* memiliki tinggi 3.28 feet dan diameter 0.656 feet)

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan kepada perusahaan PHE WMO adalah sebagai berikut,

1. Dalam mendesain sebuah fasilitas produksi *platform*, perusahaan juga harus dapat mengestimasi kondisi-kondisi yang terjadi paska awal produksi gas bumi, bilamana fasilitas produksi tersebut akan dan butuh mengalami penambahan peralatan dikemudian hari. Bila ruang yang dibutuhkan masih banyak yang tersedia, maka akan timbul lebih banyak solusi yang dapat digunakan dalam menghadapi suatu persoalan.
2. Dalam melakukan kajian pengeboran, sebaiknya diteliti apakah dalam kurun waktu pengeboran jangka panjang, akan timbul *anomalies* yang dapat mengganggu sistem kerja dari fasilitas produksi yang ada dikarenakan pada jangka panjang, karakteristik dari sumur dapat berubah dan menjadi tidak relevan dengan peralatan dan fasilitas yang ada.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Database PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore
- [2] Website Kementerian ESDM, 2017
- [3] Natural gas : a basic handbook / James G. Speight. 2013
- [4] (American fuel & petrochemical manufacturers, 2017)
- [5] Gas turbine engineering handbook, Meherwan P. Boyce
- [6] website petrowiki, 2016
- [7] *Use of MXUC 3-1388 Paraffin Inhibitor Eliminates Catastrophic System Failure for the Operator, Multi-chem*, 2016
- [8] Centaur 50 Manual book
- [9] GPSA Engineering Data Book 12th edition 2004, section 7
- [10] John Crane Proposal to Pertamina

## BIODATA PENULIS



**Bartolomeus**

**Widi Bramantio**

lahir pada tanggal 26 Agustus 1995 di Jakarta pada hari Sabtu. Merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Johanes Widjonarko dan Agnes Sribudiyani.

Penulis menempuh dasarnya dari TK hingga tingkat SMA pada yayasan Marsudirini Bekasi.

Setelah lulus dari SMA pada tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan tingginya di jurusan Teknik Mesin FTI ITS melalui jalur mandiri dan mengambil laboratorium serta fokus penelitian pada bidang studi sistem rekayasa industri.

Selama menempuh pendidikan tinggi, penulis melaksanakan kerja praktek pada Petrochina International Companies Indonesia, PT. selama 1 bulan dan melanjutkannya pada PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore selama 1 bulan.

Dalam pengalamanya dan pengetahuanya selama kerja praktek di perusahaan *oil and gas*, penulis melakukan penelitian dalam menganalisa kegagalan alat produksi pada PT. PHE WMO untuk meningkatkan kesempatan produksi. Penulis dapat dihubungi melalui: **bwbramantio@gmail.com**